

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**O USO DA SIMULAÇÃO PARA GARANTIR ROBUSTEZ AOS SISTEMAS
DE FABRICAÇÃO: UMA ABORDAGEM INTEGRADA**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

LUIZ PAULO GOMES RIBEIRO

FLORIANÓPOLIS, JULHO DE 1999


**O USO DA SIMULAÇÃO PARA GARANTIR ROBUSTEZ AOS SISTEMAS
DE FABRICAÇÃO: UMA ABORDAGEM INTEGRADA**

LUIZ PAULO GOMES RIBEIRO


**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA**


**ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA EM SUA
FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**


João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D. – Orientador


Júlio César Passos, Dr. Eng. – Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA


Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D. – Presidente


Paulo José de Freitas Filho, Dr. Eng. – Comp.


Vera Lúcia Duarte do Valle Pereira, Dr. Eng. – EPS

“Senhor, sejam para o vosso coração misericordioso,
todas as nossas alegrias esperanças e aspirações!
Ensina-nos a executar vossos propósitos desconhecidos.
Abre-nos as portas de ouro das oportunidades do serviço.
E ajuda-nos a compreender a vossa vontade!
Seja o nosso trabalho a oficina sagrada de bênçãos infinitas.
Converte-nos as dificuldades em estímulos santos.
Transforma os obstáculos da senda em renovadas lições...”
Obrigado, Senhor.

**À minha família,
seu amor é minha força.
Nada é mais importante pra mim.**

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, ser infinitamente bom e justo, cheio de mansidão e misericórdia, que perdoa seus filhos arrependidos, e dá a cada um, segundo suas obras.

Aos meus bons amigos da espiritualidade que me inspiraram sempre que eu precisei, e à Doutrina Espírita pelo esclarecimento do verdadeiro sentido da vida.

Ao Exército Brasileiro pelo patrocínio, ao Instituto Militar de Engenharia pela formação sólida, e à Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade de amplificar meus conhecimentos.

Ao professor Roberto Aiex pela confiança dispensada e pela ampla visão de futuro.

Ao professor João Carlos, meu orientador, pela liberdade de criação e pelas críticas feitas ao longo do trabalho. A oportunidade do convívio seguramente contribuiu para minha evolução.

Aos professores Paulo Freitas e Vera Lúcia, verdadeiros ícones em Simulação de Sistemas Discretos e Tecnologia de Grupo, respectivamente, que seguramente influenciaram em minha formação.

Ao professor Abelardo pela revisão final desta dissertação.

Aos membros da banca examinadora pelo tempo dispensado no exame deste material.

Aos meus parceiros de trabalho Fernando Pacheco, Érico Bretones, Julio Falce e Marcelo Prim, co-criadores do protótipo desenvolvido. Essas pessoas jamais aceitaram que alguma coisa fosse impossível.

Aos amigos Priscila Souza e Márcio Braghini pelo companheirismo e pela lealdade.

E finalmente, muito obrigado a todo um elenco de pessoas que atuaram nos bastidores me apoiando.

Que Deus transforme a minha gratidão para com todos em dádivas sagradas que retornem em forma de paz, saúde e amor para esses benfeitores.

SUMÁRIO

Aprovação	i
Dedicatória.....	ii
Agradecimentos	iii
Sumário	iv
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Tabelas	viii
Lista de Abreviações	ix
Resumo.....	x
Abstract	xi
 1 - INTRODUÇÃO.....	 1
1.1 - A Economia e a Manufatura.....	2
1.1.1 - Manufatura e a geração de empregos.....	2
1.1.2 - Manufatura apoiando a Defesa Nacional	5
1.1.3 - Manufatura mantendo a balança comercial forte	6
1.2 - A Globalização dos Mercados.....	6
1.2.1 - O mercado brasileiro e a globalização	7
1.3 - Formulação do Problema	9
1.4 - Tecnologia de Informação: Uma Solução.....	10
1.5 - Sistema Integrador da Manufatura com a Estatística e a Simulação, com Abordagem Dinâmica: SIMES – DIN.....	11
1.6 - Objetivo da Dissertação	14
1.7 - Organização da Dissertação	15
 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	 16
2.1 - Sistemas de Manufatura.....	16
2.1.1 - Robustez do Sistema de Fabricação.....	17
2.1.1.1 - Qualidade	18
2.1.1.2 - Rapidez	18
2.1.1.3 - Confiabilidade.....	19
2.1.1.4 - Flexibilidade.....	19
2.1.1.5 - Custo.....	20

2.1.2 - Sinergia entre os objetivos básicos	20
2.1.3 - Tecnologia de Grupo	21
2.1.4 - Sistema de manufatura celular	26
2.1.5 - Sistema Flexível de Manufatura	27
2.1.5.1 - FMS para o contexto da manufatura	28
2.1.6 - Novas tendências	29
2.1.6.1 - Sistema de manufatura “biônico”	29
2.1.6.2 - Empresa fractal	30
2.1.6.3 - Sistema de manufatura “holônico”	30
2.2 - Engenharia de Software	31
2.2.1 - Retrospecto sobre software	31
2.2.2 - Aspectos do software	32
2.2.3 - Fases do processo de desenvolvimento	33
2.2.4 - Programação Orientada a Objeto (POO)	34
2.2.5 - Delphi3 como linguagem de quarta geração	37
2.3 - Simulação de Sistemas	38
2.3.1 - Tipos de modelos de simulação	39
2.3.2 - Partes Integrantes de um Modelo de Simulação	40
2.3.3 - Passos em um Estudo de Simulação	42
2.4 - Contabilidade de Custos	44
3 - SISTEMA INTEGRADOR DA MANUFATURA ESTATÍSTICA E SIMULAÇÃO	49
3.1 - Módulo Pro-SIMES	49
3.1.1 - Pro-SIMES -Enfoque de Projeto	51
3.1.2 - Pro-SIMES -Enfoque de Vendas	57
3.2 - Módulo de Análise de Distribuições Estatísticas (ADE)	59
3.2.1 - Coleta de dados	60
3.2.2 - Tratamento dos dados	60
3.2.3 - Identificação da distribuição estatística e estimativa de parâmetros	62
3.2.4 - Testes de aderência	65
3.3 - Módulo de Simulação da Produção (SiP)	65
3.3.1 - Mecanismos de avanço de tempo	68
3.3.2 - Métodos de modelagem	68
3.3.3 - O processo de simulação	68
3.3.4 - Rotina de geração de variáveis aleatórias	75
3.4 - Módulo de Análise de Resultados da Simulação (ARS)	78
4 - ESTUDO DE CASO	83
4.1 - Produção da Fábrica	83

4.2 - Leiaute da Fábrica.....	84
4.3 - Análise dos Custos.....	88
4.3.1 - Cálculo do custo devido à Ociosidade	90
4.3.2 - Cálculo do custo de Processamento	91
4.3.3 - Cálculo do custo de Manutenção	91
4.3.4 - Cálculo do custo de Setup	91
4.4 - Atributos da Peça.....	92
4.5 - Análise de Robustez do Sistema de Fabricação	94
4.6 - Estimação de Prazo de Produção de Lote com Prioridade.....	96
5 - CONCLUSÃO E FUTUROS TRABALHOS	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Taxa de desemprego - 1997	4
Figura 1.2 – Índice da evolução do emprego & da produtividade industrial - Brasil	5
Figura 2.1 – Efeitos dos Objetivos de Desempenho [Slack et al, 1997].....	21
Figura 3.1 – Tela introdutória do Pro-Simes	50
Figura 3.2 – Tela representativa de novo projeto	52
Figura 3.3 – Tela representativa da opção Máquinas.....	52
Figura 3.4 – Tela representativa dos <i>buffers</i> preenchidos.....	53
Figura 3.5 – Tela representativa da opção Roteamento	54
Figura 3.6 – Tela representativa da opção Tempos e Custos	55
Figura 3.7 – Tela de escolha da distribuição aleatória	56
Figura 3.8 – Tela de chamada do Simulador	57
Figura 3.9– Entrada de dados associado a máquina	61
Figura 3.10 – Entrada de dados	61
Figura 3.11 – Amostragem seguindo uma distribuição normal	63
Figura 3.12 – Amostragem seguindo uma distribuição triangular	64
Figura 3.13 – Amostragem seguindo uma distribuição exponencial	64
Figura 3.14 – Tela principal do Simulador.....	65
Figura 3.15 – Atributos da máquina selecionada	67
Figura 3.16 – Atributos de chegada	67
Figura 3.17 – Tela de resultado – Panorama Geral.....	79
Figura 3.18 – Tela de resultado – Panorama de Tempos	79
Figura 3.19 – Tela de resultado – Panorama de Custos	80
Figura 3.20 – Tela de resultado – Panorama de Máquinas	81
Figura 4.1 - Matriz de incidência.....	84
Figura 4.2 - Matriz de incidência com arranjo celular	85
Figura 4.3 – Leiaute do chão-de-fábrica	87

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Influência da qualidade, rapidez, confiabilidade e flexibilidade, sobre os custos....	21
Tabela 4.1 – Relação das máquinas disponíveis no chão-de-fábrica.....	86
Tabela 4.2 – Estudo dos indutores de custo por máquina	89
Tabela 4.3 – Roteamentos principal e alternativos	92
Tabela 4.4 – Distribuição aleatória dos tempos das máquinas envolvidas	93
Tabela 4.5 – Variação das variáveis de controle com o tamanho do lote	94
Tabela 4.6 – Resultado das variáveis de controle sem máquinas alternativas	96
Tabela 4.7 – Novo cenário de roteamentos principal e alternativos	98
Tabela 4.8 – Distribuição aleatória dos tempos para o planejamento principal e secundário	99

Lista de Abreviações

ABC	<i>Activit Based Costing</i>
ADE	Módulo de Análise de Distribuições Estatísticas
AGV	<i>Automatic Guided Vehicle</i>
APF	Módulo Analisador de Produção Futura.
API	Interface de Programação das Aplicações do Windows
ARS	Módulo de Análise de Resultados da Simulação.
BOS	Base de Objetos de Software ou Biblioteca de Classes.
CAGED	Cadastro Geral de Empregados e Desempregados do Ministério do Trabalho
CAPP	Planejamento do Processo Auxiliado por Computador
CAT	Controle de Avanço de Tempo.
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CME	Controle de Mudanças de Estado.
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CS	Calendário da Simulação.
FMS	<i>Flexible Manufacturing System</i>
GRIMA	Grupo de Integração da Manufatura.
GT	Tecnologia de Grupo.
ISDN	<i>Integrated System Digital Network</i>
MOI	Mão-de-Obra Indireta.
MRP	Planejamento de Materiais Necessários
NC	Controle Numérico
PIB	Produto Interno Bruto
POO	Programação Orientada a Objeto
SiP	Módulo de Simulação da Produção.
SIMES-DIN	Sistema Integrador da Manufatura com a Estatística e a Simulação, com abordagem Dinâmica
TI	Tecnologia de Informação
WIP	<i>Work In Process</i>

RESUMO

A globalização dos mercados, aliada à elevada diversidade dos produtos fabricados, têm causado o contínuo aumento da competição entre as empresas. Em consequência, torna-se cada vez mais necessário a utilização de ferramentas computacionais que auxiliem a tomada de decisões, em busca do aumento no nível de eficácia, agilidade e flexibilidade da empresa. O poder dessas ferramentas computacionais é bastante amplificado se forem empregadas de maneira integrada, dando origem a um sistema maior e mais completo, que venha representar com maior fidelidade o cenário real da empresa. Assim, essa dissertação apresenta uma proposta de ferramenta computacional de avaliação de estratégias, denominada SIMES-DIN – *Sistema Integrador da Manufatura com a Estatística e a Simulação com Abordagem Dinâmica*, e a mesma busca facilitar e melhorar a eficácia da tomada de decisões. Nesse trabalho objetiva-se também descrever os primeiros passos para a concretização deste sistema, pelo desenvolvimento de alguns módulos integrados que constituem o primeiro protótipo do mesmo. Um fator fundamental considerado no desenvolvimento do protótipo é que ele é totalmente independente de outros softwares comerciais, e com isso ele não agrega o custo daqueles. Assim, o protótipo é passível de ser utilizado pelas empresas nacionais, a um custo bastante baixo. O enfoque central do trabalho reside na utilização de técnicas de simulação visando garantir robustez aos sistemas de fabricação, utilizando-se conceitos estatísticos. Um estudo de caso teórico é apresentado de modo a mostrar qualitativamente o potencial do protótipo. Com isso, espera-se promover um ganho real e substancial para a empresa como um todo, pelo aumento do nível de conhecimento das potencialidades da mesma.

ABSTRACT

The globalization, together with the diversified manufactured products, has caused a continuous increase in competition between companies. Consequently, it has become necessary the use of computer tools to support decision-making, aiming at increasing the efficiency, agility and flexibility of the company. When these computer tools are integrated, their power is increased, and they give rise to a larger and more comprehensive system, thus representing more faithfully the company's actual scenario. The present work proposes a computer tool to evaluate strategies, referred to as "SIMES – System for Manufacturing Integration with Statistics and Simulation", and it aims at facilitating and increasing the efficiency on decision making. It is intended in this work also describe the first steps toward implementing this system, via the development of some integrated modules that compose the system's first prototype. A fundamental factor with regard to the prototype is that it is totally independent of other commercial systems, and thus it does not aggregate their cost. Therefore Brazilian companies may utilize the prototype at a relatively low cost. The main focus of this work consists of applying simulation techniques aiming robust manufacturing systems, through statistical concepts. A theoretical case study is presented in order to show the prototype's potential. It is hoped that this system leads to a real and significant gain for the company as a whole, through the increase in knowledge of its potential.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Para alcançar uma economia avançada e estável, é necessário obter o domínio de alguns pontos estratégicos. Um desses pontos é o conhecimento. Em busca do desenvolvimento do conhecimento é necessário a sinergia de diversos fatores, dentre os quais incluem-se: recursos financeiros, recursos humanos, pesquisa, vontade política e inovação tecnológica. Outro ponto importante é a informação, que devidamente combinada com o conhecimento cria condições propícias para a geração de riquezas.

Segundo Pressman [1995], o conhecimento e a informação devidamente processados pelo computador, serão o foco principal de poder no século XXI.

No que tange aos recursos financeiros, são eles que financiam o desenvolvimento da pesquisa, que busca transformar o dinheiro investido em conhecimento. Os recursos humanos exercem papel fundamental como catalisador de idéias, animando a pesquisa e promovendo a eficácia da referida transformação. A pesquisa deve ser fundamentalmente uma obra de criatividade, que nasce da intuição do pesquisador e recebe a marca de sua originalidade, tanto no modo de empreendê-la como no de comunicá-la [Ferrari, 1982].

A vontade política é considerada aqui, nos mais diversos níveis, desde o âmbito governamental até o das Universidades ou Institutos de Pesquisa, públicos ou privados, com ou sem fins lucrativos, passando inclusive pelos Institutos particulares de empresas que sabiamente investem em pesquisas. A ausência deste fator certamente irá conduzir o respectivo organismo rumo a um futuro incerto. Assim sendo, é de grande importância a presença de uma política nacional de desenvolvimento científico e tecnológico devidamente articulada a uma estratégia de desenvolvimento industrial e das atividades de serviço. Essa política nacional deveria estimular o setor privado a reforçar as atividades de educação, ciência e tecnologia, incentivando-o a considerá-las como dimensão significativa e permanente de suas estratégias. Por fim deveria ser implantado um sistema de identificação de oportunidades científicas e tecnológicas, e garantir o apoio a programas que garantam a rápida disseminação de informações científicas de modo a diminuir a fragilidade tecnológica do sistema de inovação brasileiro [Coutinho, 1996].

A inovação é um fator fundamental, o qual é proveniente principalmente da visão de futuro e capacidade criativa do ser humano. No desenvolvimento de uma economia avançada, a inovação tecnológica adquire relevância indiscutível, e é através dela que pode-se novamente transformar o conhecimento em dinheiro, devidamente amplificado. Certamente as inovações sempre existiram; no entanto, foi só com o encontro da ciência com a produção, durante a Revolução Industrial, que a produção de inovações tecnológicas pôde ser feita através de uma atividade específica e formal. O momento em que a atividade científica deixou de ser contemplativa para se transformar em ativa, é aquele onde a fonte de soluções práticas da indústria não servia mais para resolver o espectro crescente de problemas [Zawislak, 1994].

Intimamente relacionado com a inovação está a informação. Algumas vezes ela advém do simples investimento em pesquisa e desenvolvimento, entretanto ela surge mais freqüentemente do esforço e da abertura, e de se procurar no lugar certo, livre de suposições limitadoras ou da sabedoria convencional [Furlan, 1997].

Uma economia avançada e estável, pressupõe um país próspero, e a prosperidade de um país não nasce dos seus pendores naturais, de sua força de trabalho, de suas taxas de juros, ou do valor de sua moeda. A prosperidade de um país é criada, e não herdada, estando em razão direta com o nível de competitividade das suas indústrias em relação à das outras nações [Porter, 1990].

1.1 - A ECONOMIA E A MANUFATURA

A indústria manufatureira tem uma participação muito importante na economia brasileira, sendo responsável em 1997 por aproximadamente 39% do produto interno bruto (PIB), enquanto que 72% da exportação é de manufaturados e semi-manufaturados, estando voltada principalmente para a Europa, Estados Unidos e Japão [Werneck, 1997]. Assim, desenvolver o conhecimento na área da manufatura adquirindo habilidade de produção em diversas atividades torna-se um fundamento sólido na edificação de uma economia avançada. Com uma manufatura avançada, é possível gerar e manter empregos, apoiar a Defesa Nacional e manter a balança comercial forte, evitando importações e aumentando exportações [Hall, 1988].

1.1.1 - Manufatura e a geração de empregos

Empregos contínuos sempre foram, e sempre serão, boas plataformas políticas, pois eleitor com emprego é um eleitor feliz, principalmente quando o fantasma do desemprego ronda o contexto mundial [Hall, 1988].

Muito se discute sobre a evolução do conhecimento na indústria. Com a evolução tecnológica resultante deste, surge a automação que alavanca a produtividade. O conseqüente resultado é a diminuição da quantidade de pessoal necessária à transformação do produto, gerando assim desemprego.

Essa discussão pode ainda ser bastante prolongada, quando se consideram dois outros fatores: a evolução natural e o mundo sem fronteiras.

A evolução é uma conseqüência natural que ganha dimensões baseadas no gênio inventivo intrínseco ao ser humano. A procura eterna por uma satisfação inalcançável impulsiona o homem na busca do aperfeiçoamento moral e intelectual em todas as áreas do conhecimento. O desejo incessante pelo melhor, o impele à pesquisa que o leva às descobertas, às invenções, ao aperfeiçoamento da ciência, que lhe proporciona o quê lhe falta. Pelas suas pesquisas a inteligência se lhe engrandece e o moral se lhe depura.

Com isso, e considerando ainda a pluralidade de países em busca de melhores condições de vida para os respectivos cidadãos, pode-se facilmente concluir que os empregos serão perdidos de qualquer forma. Resta então a escolha se o desemprego será parcial ou total, devido ao avanço da tecnologia da empresa ou ao avanço de um concorrente, que inclusive pode estar em outro continente, face às inexistências de fronteiras comerciais, com a queda das barreiras alfandegárias e das reservas de mercado. Assim, a última alternativa é muito mais danosa ao país, pois o desemprego parcial dá lugar ao desemprego generalizado, causado pela incompetência tecnológica da massa falida, incapaz de oferecer produtos que atendam às necessidades do cliente, com eficácia, nas suas múltiplas facetas. Com isso, a máxima da questão é sobreviver ou morrer, em um verdadeiro “campo de guerra” comercial onde só há lugar para os capazes.

A figura 1.1 revela que a taxa de desemprego no Brasil situava-se, em 1996/1997, em patamares relativamente baixos (5,66%) em comparação com outros países, especialmente Espanha (22,2%), Argentina (16,3%), Polônia (12,3%), França (12,9%) e Itália (12,1%), entre outros. A taxa brasileira estava mais próxima da dos Estados Unidos, Coréia e Japão. As tendências mais recentes na evolução da taxa de desemprego evidenciam sua elevação a partir de 1998, com a média anual aproximando-se gradativamente de um novo patamar mais próximo agora dos 7,5%. A economia brasileira, em resumo, está perdendo dinamismo na geração de empregos. Dentre os empregos criados, uma parte substancial é de baixa qualidade. De um lado, há uma crescente informalização da força de trabalho, conjugada a um processo de terceirização da ocupação. De outro, o desemprego é crescente, especialmente nas principais áreas metropolitanas [M.Tb., 1998].

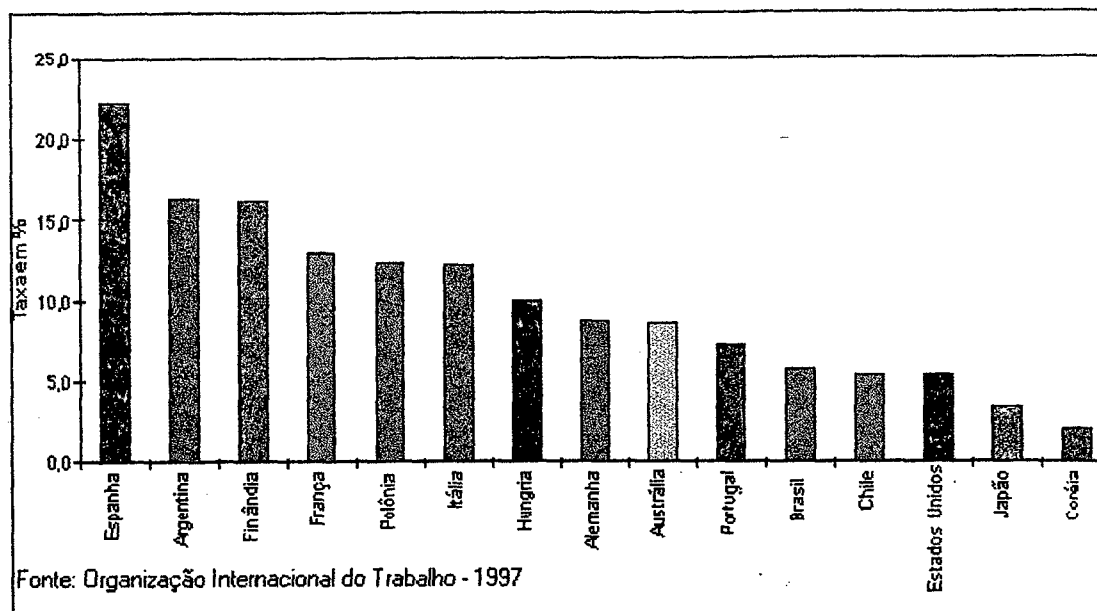


Figura 1.1 - Taxa de desemprego — 1997

Segundo dados do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados - CAGED do Ministério do Trabalho [M.Tb., 1998], no setor formal do mercado de trabalho, onde estão os trabalhadores protegidos por contratos de trabalho e pelos estatutos públicos, foram eliminados cerca de 2,56 milhões de empregos, entre janeiro de 1990 e dezembro de 1997. Cerca de 60,0% desses empregos situavam-se na indústria de transformação. O volume e a rapidez do declínio no número de postos de trabalho originam-se do processo de abertura comercial que substituiu o antigo modelo de industrialização protegida, característico do desenvolvimento brasileiro até o final dos anos 80.

A figura 1.2 evidencia que, enquanto o emprego industrial no Brasil declinava de forma constante entre março de 1991 e dezembro de 1997 (-28,5%), a produtividade na indústria de transformação, medida por homens/hora, duplicava no período [M.Tb., 1998]. Os ganhos de produtividade, tão importantes para aumentar a competitividade da economia, e assim obter vantagens da globalização, tiveram efeitos perversos sobre o nível do emprego. Além disso, esse aumento de produtividade tem importantes consequências para a quantidade e a qualidade do emprego que a economia está gerando.

Assim, o descompasso, no contexto do setor moderno, é entre o crescimento da produtividade e o do emprego. Essa arritmia constitui uma das mais importantes questões das economias em processo de inserção competitiva: é essencial aumentar a produtividade para ganhar competitividade mas, também, é necessário elevar o nível e a qualidade dos empregos gerados para que a globalização traduza-se em melhores condições de vida para os trabalhadores. Só a sustentabilidade do desenvolvimento econômico pode assegurar o alcance simultâneo desses dois objetivos.

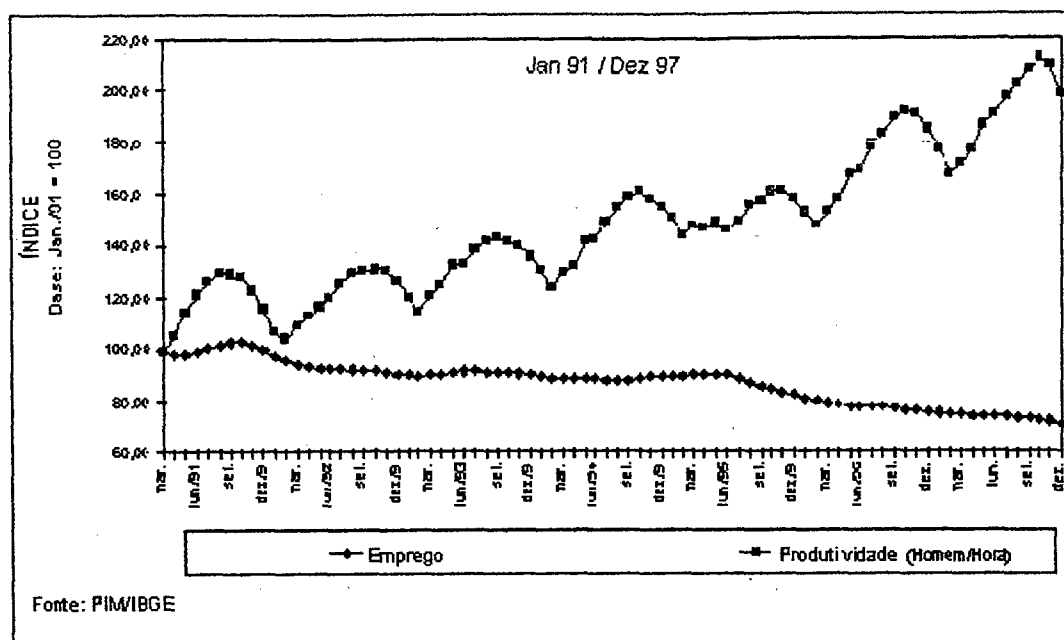


Figura 1.2 - Índice da evolução do emprego & da produtividade industrial - Brasil

Cabe ainda ressaltar que a automatização surge como um agente capaz de libertar o homem da escravidão, pois determinados serviços repetitivos e desgastantes são prontamente substituídos pelos robôs, restando ao homem a execução de tarefa mais nobre, para a qual até o presente momento ele é insubstituível, e constitui o seu legado divino. Refere-se à capacidade de criação inerente ao ser humano. Com a automatização, o nível e a qualidade dos empregos gerados aumenta substancialmente, e para isso as características e os desafios redefinem o problema do emprego e exigem novos conceitos. Um deles é o de empregabilidade, entendido como atributo que o trabalhador deve possuir para que aumente a probabilidade de manter seu emprego ou de obter uma nova ocupação. Assim, aumentam de importância os requisitos de educação básica, formação profissional e de requalificação para se manter ou conquistar um posto de trabalho de boa qualidade. Novas ações deverão ser desenvolvidas para facilitar o deslocamento de trabalhadores das atividades cadentes e/ou sujeitas à reestruturação produtiva para as que estão surgindo ou em expansão, contribuindo, também, para reduzir os custos sociais do ajustamento.

1.1.2 - Manufatura apoiando a Defesa Nacional

Como forma de apoiar a Defesa Nacional, a manufatura avançada sustentada pela alta tecnologia, permite a produção e o aprimoramento do material bélico. Uma nação independente deve sempre estar pronta para defender seus interesses em todos os níveis perante qualquer outra. Deve ser capaz de projetar armas e produzi-las em grande quantidade e com alta qualidade [Hall,

1988]. Note que a expressão utilizada foi “ser capaz”, significando que, caso seja necessário, por ocasiões de possíveis ameaças contra a Nação, a manufatura passará a ser uma aliada importante e estratégica, e conforme seu nível de avanço tecnológico influenciará no tempo necessário ao cumprimento do verdadeiro objetivo da guerra: o restabelecimento da paz [SunTzu, 500 a.C.].

Outra consideração a ser frisada é que as nações desenvolvidas que se dispõem a vender material bélico nunca vendem os últimos modelos, ou seja, repassam apenas a “sucata tecnológica”, mantendo a última versão estrategicamente para a sua autodefesa. É possível analisar também o caso de confronto com o país de origem das armas adquiridas. Neste caso, aquele detém informações estratégicas sobre o tipo e a quantidade de armamento, e sobre o poder de fogo do inimigo. Sendo assim, conhece os pontos fortes e fracos do armamento do seu oponente. Conhecendo o campo de batalha, o inimigo e a si mesmo, a vitória não será posta em dúvida [SunTzu, 500 a.C.].

1.1.3 - Manufatura mantendo a balança comercial forte

Com a evolução do mundo, trocou-se a guerra bélica pela guerra comercial, e com isso a manufatura, mesmo em tempo de “paz”, continua exercendo importante papel estratégico que garante a manutenção de uma balança comercial forte [Hall, 1988].

A manufatura avançada é capaz de proteger os produtos fabricados contra as investidas dos produtos estrangeiros junto ao mercado interno, oferecendo produtos com condições de competitividade de, no mínimo, igual para igual com os estrangeiros, promovendo assim uma ação defensiva.

Conforme o grau de avanço tecnológico relativo, é possível promover, além da ação defensiva, uma ação ofensiva, que constitui em aumentar as exportações, lançando seus produtos em mercados débeis. Quando as empresas se tornam capazes de lançar seus produtos em mercados diversos, e em condições de competitividade com os nativos, tornam-se empresas de classe mundial. A empresa que produz visando o mercado sem fronteiras precisa sempre oferecer o melhor, além de ter como meta maior, o aperfeiçoamento gradual e interminável de sua estrutura como empresa, ou seja, o oposto da acomodação.

1.2 - A GLOBALIZAÇÃO DOS MERCADOS

Com o advento das comunicações e dos transportes em âmbito mundial, locais isolados e de povos tecnologicamente carentes passam a receber informações e a desejar usufruírem dos

atrativos da modernidade. Há uma ânsia generalizada pelas possibilidades de aperfeiçoar e tornar mais fácil o trabalho, aumentar o padrão de vida e propiciar entretenimento. O resultado é uma nova realidade comercial, com uma emergência de mercados globais numa escala nunca antes imaginada [Levitt, 1990].

Buscando saciar esses mercados emergentes, empresas detentoras de tecnologias competem entre si para obter a maior fatia possível destes mercados. Os competidores mundiais mais eficazes incorporam qualidade e confiabilidade superior em suas estruturas de custos. Eles vendem em todos os mercados no exterior as mesmas espécies de produtos vendidos em seu país, ou nos seus maiores mercados de exportação. Eles competem oferecendo a melhor combinação de preços, qualidade, confiabilidade e prazo de entrega.

Quanto mais global o alcance de uma empresa, maior o número de preferências regionais e nacionais que ela encontrará para certas qualificações de produto, sistemas de distribuição ou mídia de promoção [Levitt, 1990]. Haverá sempre a necessidade para alguma acomodação com relação às diferenças.

Admitindo que o concorrente internacional possua os atributos supracitados, cabe uma análise do mercado brasileiro, a qual será feita a seguir.

1.2.1 - O mercado brasileiro e a globalização

Este tópico está baseado em uma entrevista do ex-ministro da Indústria e Comércio, João Camilo Penna à revista *Techojé* [Penna, 1997], que sabiamente montou um cenário adequado e representativo sobre o assunto.

A indústria brasileira teve um notável sucesso no regime de economia fechada ao mundo. Entre 1960 e 1990, as alíquotas brasileiras de importação eram tão altas que a indústria se mantinha protegida da concorrência externa. Esta política incentivou o surgimento de empresas locais, e ao mesmo tempo fez com que empresas estrangeiras, proibidas de exportar para cá, procurassem abrir filiais no país. É o caso da indústria automobilística. Este programa de substituições de importações foi o lado bom da história, pois permitiu ao Brasil construir um parque industrial muito importante. O Brasil exerce um importante papel no processo de globalização, pois está entre os 10 mais, no que tange ao PIB, à concentração de população urbana [Contador, 1991] e à capacidade manufatureira [Penna, 1997].

Todo o programa de substituições de importações brasileiro se apoiou fortemente em importação de tecnologia. Era um processo irônico: produzia-se aqui, mas com tecnologia importada. Então, entre 1960 e 1990, a indústria desenvolveu-se muito, mas não houve, em

contrapartida, desenvolvimento tecnológico. A partir de 1990, o desenvolvimento da tecnologia mundial provocou um forte processo de internacionalização da economia [Silva e Sacomano, 1995]. A tecnologia reduziu de tal forma os custos de transportes internacionais e de comunicação, que o mundo começou a trabalhar muito mais entrelaçado. Foi o desenvolvimento tecnológico, o principal responsável pela globalização da economia.

O governo brasileiro, que durante alguns anos já vinha observando o contexto mundial, compreendeu que o mundo batia à sua porta e que era preciso deixá-lo entrar. Era preciso abrir, mas com controle. Então, o governo fez uma forte redução de tarifas, que caracterizou um dos programas mais importantes dos últimos tempos no Brasil. A tarifa média de importação passou de 45% para 15%. No entanto, o Brasil não estava preparado para produzir tecnologias, pois durante os 30 anos anteriores se acostumou a ter tecnologia importada. E, a partir daquele momento, era primordial o desenvolvimento de tecnologias próprias. A festa acabou com relação a tecnologias importadas, e a aquisição de tecnologia tornou-se difícil. Três razões suportam isto.

Quando o Brasil era uma nação de economia fechada, os demais países não se preocupavam em disponibilizar tecnologias para cá. Hoje, há restrições devido ao fato de que o Brasil é um concorrente internacional. Outra razão é que hoje a tecnologia é mais complexa, avançada, sofisticada e dinâmica, o que a torna obsoleta rapidamente. Por fim, atualmente as tecnologias são tão sofisticadas que simplesmente comprá-las, sem ter equipes próprias competentes, não levará a nada. Em síntese, comprar tecnologia está mais difícil e arriscado.

A indústria brasileira deve fazer um formidável esforço de qualidade e de redução de custos. E ambos estes aspectos estão intimamente ligados à tecnologia. O Brasil deve desenvolver tecnologias para produzir com qualidade e a baixo custo para um mercado interno que corresponde a 80% do total, e este mercado é composto basicamente por indivíduos de baixa renda. Também o mercado externo exige produtos com alta qualidade e preço baixo. Para atender a estes dois mercados, duas formas de tecnologia devem ser dominadas: a tecnologia de produção (produtos e processos) e a tecnologia de gestão. A maioria das empresas não tem competência para gerir tecnologia [Penna, 1997]. É necessário portanto o desenvolvimento de tecnologias próprias. Para isto, deve-se revalorizar a engenharia e o engenheiro, aparelhando-o para que produza melhor. A ferramenta mais eficiente para o aparelhamento deste profissional é sem dúvida o computador, que deve passar a ser um escritório de trabalho portátil [Gusmão, 1995]. Além do hardware, é necessário desenvolver softwares de auxílio à tomada de decisão.

1.3 - FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Pode-se dizer que a crescente globalização e a internacionalização da economia mundial têm implicado condições cada vez mais duras em termos das necessidades competitivas das empresas brasileiras nos mercados regional, nacional e internacional. Associado a esse fato, a queda da inflação no país impõe novas condições de contorno na economia, tendendo a colocar uma maior centralidade ao equacionamento dos problemas dos sistemas de produção, em relação aos aspectos de gestão financeira das empresas, face à crescente concorrência.

Com a alta concorrência entre empresas, muitos mercados tornaram-se altamente competitivos, e os produtos fabricados por cada empresa sofrem uma competição muito intensa, o que poderá torná-los vulneráveis. A vulnerabilidade de um produto começa a despontar quando um produto similar de uma empresa concorrente, desempenha a mesma função e possui um preço de mercado menor, supondo, em momento algum, a prática de *dumping*. Esta situação agrava-se bastante quando este produto concorrente também possui melhor qualidade e confiabilidade, menor tempo de entrega, melhor adequação às necessidades do cliente, ou ainda, proporciona ao cliente inovações a cada versão produzida.

Com o mercado extremamente competitivo, as empresas não podem mais ditar o lucro desejado e simplesmente somá-lo ao custo, e impor seu preço. Podem até tentar impor, mas não vão vender. O consumidor irá comprar do concorrente que tiver menor preço. Assim, a nova formulação que passa a ser usada é que seu lucro será decorrência da diferença entre o preço de mercado e o custo de fabricação.

Existem duas maneiras técnicas de se diminuir o preço do produto fornecido ao mercado: a primeira é diminuir a margem de lucro, e a segunda é reduzir o custo de produção mantendo a margem de lucro. As empresas não podem continuar a reduzir a margem de lucro e, ainda manter a sua sobrevivência; entretanto, muitas tentam e acabam falindo. A única redução de preços admissível é a redução do custo do produto, e se torna o único método de se manter competitiva em preços a longo prazo.

Sendo assim, deve-se aperfeiçoar continuamente os sistemas de produção consonantes com a realidade nacional, de modo a torná-los compatíveis e competitivos com as empresas de fabricação de classe mundial [Black, 1991], e este é um elemento central que deve servir como base de sustentação para da estratégia de negócios das empresas.

No ambiente competitivo atual, há uma clara tendência para a produção de peças diversificadas, em lotes cada vez mais reduzidos, com baixo custo, de melhor qualidade, com redução do tempo de entrega, e com ciclos de vida menores. Outra tendência, diz respeito ao

aumento da complexidade e sofisticação do Projeto de Produto [Naik e Chakravarty, 1992] de modo a conquistar cada vez mais a preferência do cliente externo.

Analisando o cenário como um todo, pode-se concluir que o quadro retrata um “estado de guerra” comercial. Segundo Sun Tzu [Sun Tzu, 500 a.C.], para vencer uma guerra é o conhecimento do campo de batalha, do inimigo e o conhecimento de si mesmo. Fazendo uma analogia, tem-se o inimigo como o concorrente; a si mesmo, como o domínio da empresa como um todo; e o campo de batalha como o mercado em disputa. Logo, como ponto de partida é necessário conhecer a si mesmo, controlando os métodos e processos, além do domínio dos custos e dos tempos.

Surge então o seguinte problema: como reduzir a vulnerabilidade relativa dos produtos fabricados, de modo a imprimir competitividade à empresa nacional? Cabe então ao engenheiro brasileiro ligado à fabricação pesquisar, analisar e selecionar, com profundo senso crítico, os conhecimentos já desenvolvidos internacionalmente em termos de princípios, sistemas, métodos e técnicas voltados à melhoria e o domínio dos processos, buscando soluções que devidamente adaptadas à cultura do povo brasileiro, respondam às necessidades competitivas das empresas nacionais.

1.4 - TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO: UMA SOLUÇÃO

Para discutir o impacto da Tecnologia de Informação sobre as empresas e a competitividade econômica, é preciso usar uma definição muito ampla. Neste sentido, a Tecnologia de Informação (TI) é um complexo que inclui computadores (hardware e software), redes de comunicação públicas e privadas, subprodutos da interpenetração das tecnologias de comunicação, além de todos os produtos e serviços usualmente abrigados sob os rótulos de automação de escritórios, CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), rede digital de serviços integrados (ISDN – *Integrated System Digital Network*) e assim por diante [Oliveira, 1996].

Os impactos sobre a produtividade e a forma geral de organização das empresas podem ser muito significativos, porque a TI afeta as tarefas de produção, coordenação e gestão, além de expandir a memória organizacional [Durand, 1994].

Diversos observadores e analistas da evolução recente da indústria brasileira vêm constatando uma paulatina retomada dos investimentos em instalações, equipamentos e TI. Em pesquisa realizada em 1996, pelo Grupo de Produção Integrada, do Departamento de Engenharia de Produção da UFRJ, em associação com o SENAI, em 260 indústrias de diversos setores, em cerca de 9 estados da federação, constatou-se um avanço substancial do uso da informática.

Entretanto, analisando os softwares usados pelas empresas, demonstrou-se que para a maior parte destas, a situação é precária, pois o controle da produção ainda é feito com o auxílio de planilhas (Excel, QuatroPro). Nestes casos, o que se faz é uma coleta de dados manual com digitação e tratamento posterior [Proença e Caulliraux, 1996].

Constata-se então que existe um elo extremamente fraco, que se encontra na área de softwares integrados de produção, coordenação e gestão. Esta carência pode ser notada pelo crescente número de empresas especialistas em sistemas.

Dentre essas empresas inclui-se a empresa alemã de software SAP [Gurovitz, 1998]. Fundada em 1972, esta empresa desenvolveu o R/2, software integrado de gestão financeira para computadores de grande porte. Em 1992, o R/2 foi convertido para redes de micro, dando origem ao R/3, com um custo de desenvolvimento em torno de 500 milhões de dólares. A partir daí, houve um crescimento enorme da implantação deste software em várias partes do mundo. Somente em 1997 a SAP cresceu 62%, atingindo vendas globais de 3,46 bilhões de dólares, sendo 81% das vendas feitas fora da Alemanha, e obtendo um lucro de 532 milhões de dólares. Tais números fazem dela a quarta empresa de software do planeta. Competindo no mercado brasileiro desde 1995, ela registra um crescente aumento de faturamento, faturando 73 milhões de dólares em 1997, 159% a mais que em 1996. Possui atualmente 182 clientes brasileiros, 78 deles entre as 500 maiores empresas, de acordo com o anuário MELHORES & MAIORES do corrente ano, editado pela revista EXAME [Gurovitz, 1998]. O R/3 fornece todas as informações da empresa na ponta dos dedos, em tempo real, de modo correto, seguro e sem contradição.

Entretanto, o R/3 custa caro. A aquisição do mesmo fica restrito às grandes empresas, como por exemplo a Votorantim Celulose e Papel, que gastou 12 milhões de dólares em 19 meses, período no qual a empresa se viu envolvida com uma tropa de choque da Andersen Consulting e teve que alocar 45 dentre os melhores funcionários de cada departamento exclusivamente para o projeto SAP [Gurovitz, 1998].

Com os fatos supracitados, constata-se que existe grande carência de softwares específicos, e a seguir será exposta uma idealização genérica de um sistema dinâmico integrado de controle, planejamento e gestão, com auxílio da simulação.

1.5 - SISTEMA INTEGRADOR DA MANUFATURA COM A ESTATÍSTICA E A SIMULAÇÃO, COM ABORDAGEM DINÂMICA: SIMES – DIN

Sem pretensão de oferecer respostas definitivas, pretende-se apresentar a idealização de um sistema que facilite e melhore a eficácia da tomada de decisão.

Face às exigências de mercado, as empresas estão reconhecendo a necessidade de ganhar ou manter vantagem competitiva, e para isso fatores como cumprimento de datas de entrega, redução dos prazos de atendimento, aumento da flexibilidade, sem perda dos padrões de qualidade e custo, devem ser monitorados. A dinâmica dos sistemas de manufatura, face a estas exigências, é extremamente complexa e de difícil tratamento analítico. A complexidade aumenta ainda mais quando se observa que cada sistema de manufatura apresenta uma arquitetura peculiar, decorrente do desenvolvimento de habilidades e da forma com que estas são integradas. Com isso a simulação aparece como uma poderosa ferramenta, e ela vem sendo utilizada com sucesso nesta classe de problemas pouco estruturados [Souza et al., 1994; Pedgen et al., 1995; Banks e Gibson, 1996; Freitas Filho, 1997; Kelton et al., 1998].

O sistema idealizado no presente item tem como objetivo básico analisar, com o auxílio do computador, as variáveis de um sistema de produção. Outro aspecto importante é que um software voltado a análise de sistemas de fabricação seja capaz de monitorar e interferir sobre o agendamento futuro conforme a demanda do mercado, através de novos agendamentos [Gue et al., 1997]. Entretanto, a palavra-chave é integração entre os diversos módulos de caráter específico.

Em relação aos sistemas integrados apresentados na literatura [Cruz, 1997], é possível identificar que eles são compostos por vários módulos, que vão da área financeira à área industrial, passando pelas áreas comercial e administrativa. Estes módulos são agregados de forma a fazer com que um único evento que tenha dado origem à execução do processo seja trabalhado em seus inúmeros aspectos por todas as áreas que tenham alguma responsabilidade sobre ele, utilizando as potencialidades das plataformas de hardware (por exemplo, cliente-servidor), e usufruindo ao máximo das vantagens do processamento distribuído.

Dependendo do fabricante do software, esses sistemas têm entre 7 e 80 módulos diferentes que são geralmente divididos em finanças, manufatura, logística e administração. Cada módulo pode ser implantado separadamente, possibilitando à empresa adotar a nova tecnologia de forma planejada, segura, econômica e principalmente, de forma progressiva, dando tempo aos empregados a uma adaptação gradativa.

Segundo Cruz [1997], existe um mercado estimado, para os sistemas integrados de gestão empresarial, da ordem de 6 bilhões de dólares, e atualmente em aproximadamente 77% das empresas há uma falta parcial ou total de integração, entre os sistemas computacionais utilizados por essas empresas.

Nesta idealização, buscou-se a linha de microcomputadores sob a plataforma Windows95/NT, com o objetivo de oferecer um software a um custo relativamente baixo. Como

filosofia, ficou determinado que não se aproveitará nenhum software comercial previamente desenvolvido, com o intuito de não agregar o custo deste ao sistema.

O SIMES-DIN é um sistema amigável composto por diversos módulos devidamente integrados, os quais são enumerados a seguir:

- 1- Módulo Pro-SIMES – Interface de Comunicação com o Usuário,
- 2- Módulo de Simulação da Produção,
- 3- Módulo de Análise de Distribuições Estatísticas,
- 4- Módulo de Análise de Resultados da Simulação,
- 5- Módulo de Confecção do Leiaute do Chão-de-Fábrica,
- 6- Módulo de Criação e Associação de Famílias de Peças a Células de Máquinas,
- 7- Módulo de Projeto e Classificação de Peças em Famílias,
- 8- Módulo de Planejamento de Processos,
- 9- Módulo de Monitoração e Controle do Estado dos Recursos do Chão-de-Fábrica,
- 10- Módulo de Acompanhamento da Produção em Processo,
- 11- Módulo de Agendamento da Produção,
- 12- Módulo de Controle Estatístico da Produção,
- 13- Módulo de Sistemas de Custos,
- 14- Módulo de Projeções Futuras e Análise de Retorno de Investimentos,
- 15- Módulo de Análise de Retrospectos,
- 16- Módulo de Análise de Lucro Potencial,
- 17- Módulo Gerenciador de Estoque,
- 18- Módulo Gerenciador de Ferramentas,
- 19- Módulo de Planejamento, Gerenciamento e Controle da Manutenção,
- 20- Módulo Gerenciador da Cadeia de Produção,
- 21- Módulo de Otimização da Produção,
- 22- Módulo de Contabilidade Empresarial.

Pode-se constatar que, pela abrangência dos módulos, esse projeto deve ser segmentado e elaborado por várias equipes multifuncionais.

O Grupo de Integração da Manufatura (GRIMA) dispõe parcialmente de dois módulos, e os fundamentos básicos incorporados serão úteis em desenvolvimentos futuros. O primeiro é o módulo de planejamento de processos [Rezende, 1996]. Este módulo necessita de uma

atualização no que diz respeito ao sistema operacional, migrando do DOS para o Windows95/NT.

Dispõe-se também, do módulo de suporte ao projeto, manufatura e montagem de peças baseados em *features* [Maziero, 1998]. Entretanto este módulo também deve sofrer migração de sistema operacional, de Windows 3.11 (16 bits) para Windows95/NT (32 bits). Outra modificação que este deverá sofrer corresponde à desvinculação do AutoCad R12. Já foram feitos testes de desvinculação e obteve-se sucesso, restando então integrar a metodologia pesquisada àquela desenvolvida anteriormente.

O módulo de criação e associação de famílias de peças a células de máquinas encontra-se em fase final de desenvolvimento e foi possível utilizá-lo na montagem do estudo de caso. Este módulo não será abordado nesta dissertação, pois foge ao âmbito da proposta de dissertação aprovada em banca pelo Departamento de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica da UFSC [Ribeiro, 1997].

1.6 - OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

O objetivo desta dissertação é dar início ao desenvolvimento do software SIMES-DIN, pelo estudo da utilização da simulação discreta no contexto dos sistemas de fabricação, de modo a analisar, mediante um modelo representativo de chão-de-fábrica, o nível de robustez deste sistema de fabricação, visando imprimir aos produtos fabricados um nível de competitividade acima da média de seus concorrentes. O comportamento do modelo é representado por variáveis estocásticas, aproximando-se do comportamento do sistema real, segundo confiança estatística.

Assim sendo, foram desenvolvidos os quatro primeiros módulos que encontram-se listados no item 1.5, a saber: Módulo Pro-SIMES – Interface de Comunicação com o Usuário; Módulo de Simulação da Produção; Módulo de Análise de Distribuições Estatísticas; e Módulo de Análise de Resultados da Simulação.

Em uma primeira análise, pretendia-se criar Módulo de Simulação da Produção em ARENA®, acoplado a um módulo de comunicação com o usuário, utilizando como ambiente de desenvolvimento o Delphi3®, responsável pelas alterações nas variáveis aleatórias e no roteamento [Ribeiro et al., 1998]. Assim sendo foi necessário estudar a fundo o ARENA, e como resultado, vislumbrou-se a possibilidade de desenvolver um módulo de simulação em Delphi3. Investiu-se neste caminho de modo a adquirir o “saber fazer”. Algumas vantagens foram obtidas nessa migração, entre elas a desvinculação da necessidade de manter o ARENA agregado ao sistema em desenvolvimento. Outro objetivo alcançado é o de dispensar o treinamento de

profissionais em modelagem de sistemas de manufatura em um ambiente de simulação. As análises e modificações são feitas sem modificar o modelo, eliminando a possibilidade de erros, que podem conduzir a resultados enganosos e prejuízos desastrosos.

Assim sendo, espera-se facilitar e melhorar a eficácia da decisão, amparada por uma ferramenta computacional de simulação discreta, em busca da fabricação de produtos com a menor vulnerabilidade relativa, quando comparados com seus concorrentes em nível de mercado, o que se faz possível pela análise do robustez de seus sistemas de fabricação.

1.7 - ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Seguindo as posturas iniciais deste capítulo, faz-se, no capítulo 2, uma análise aprofundada dos diversos temas que fazem parte do problema da dissertação, a partir da identificação e discussão das tecnologias que têm impacto no presente trabalho. Como exemplos destes temas tem-se: Sistemas de Manufatura, Engenharia de Software, Simulação de Sistemas e Contabilidade de Custos.

O capítulo 3 descreve os quatro primeiros módulos do SIMES-DIN, listados no item 1.5, que foram desenvolvidos e serão descritos de maneira pormenorizada. Além desses módulos outros dois são descritos.

O capítulo 4 apresenta um estudo de caso teórico, que pretende demonstrar a utilização potencial do protótipo por uma empresa. A obtenção dos dados de entrada resultam de uma pesquisa em diversos artigos, de modo a compor um panorama próximo à realidade de uma empresa de manufatura. Não buscou-se a aplicação em uma empresa real face à limitação de tempo imposta no cronograma de desenvolvimento do protótipo. Cabe uma menção à importância de um futuro trabalho prático, a ser desenvolvido junto a uma empresa, de modo a analisar os impactos potenciais da utilização de um software desta natureza, servindo como laboratório rumo à correção de possíveis procedimentos computacionais e à possível inclusão de outros, na busca de uma melhor representação do cenário real que vier a ser modelado.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões que resultaram do desenvolvimento e da utilização do protótipo, e cita pontos que podem ser explorados em futuros trabalhos, com o objetivo de se alcançar um protótipo mais completo, a fim de oferecer de forma acessível ao parque fabril brasileiro um produto eficaz de auxílio à tomada de decisões, que venha a contribuir para o aumento da robustez do sistema de fabricação, imprimindo uma maior competitividade relativa dos produtos fabricados desde a sua concepção. As limitações do protótipo desenvolvido também são comentadas.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - SISTEMAS DE MANUFATURA

Como constatado no capítulo anterior, a manufatura é um fator estratégico para as nações. De um modo geral, um sistema de manufatura é uma coleção de meios de produção, computadores e pessoas, que de forma cooperativa realizam algum processo de manufatura. A complexidade de um sistema de manufatura varia desde simples máquinas operadas manualmente até sofisticados sistemas de manufatura integrados por computador (CIM – *Computer Integrated Manufacturing*) [Friedrich, 1996].

Em 1952, a primeira máquina de controle numérico surgiu nos EUA [Ferreira, 1996]. No início, as máquinas de controle numérico (NC) eram as máquinas tradicionais com um acessório de controle eletrônico. Novas versões de máquinas NC foram desenvolvidas e permitiam executar uma série de operações previamente armazenadas. Nos anos 60, as máquinas NC começaram a se tornar realmente produtivas. Pelos anos 70, controladores de máquinas computadorizados foram desenvolvidos originando as máquinas de controle numérico computadorizados (CNC), juntamente com conceitos de produção tais como Tecnologia de Grupo (GT). As máquinas CNC eram relativamente fáceis de serem programadas, particularmente para a produção de pequenos lotes e com grande variedade de peças. Com a queda do preço destas máquinas e de outros equipamentos de processamento foi possível desenvolver sistemas controlados hierarquicamente, como por exemplo as células de controle numérico direto (DNC), com o computador controlando grupos de máquinas ferramentas, compondo os Sistemas de Manufatura Celular [Das e Khumawala, 1990].

Os Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS - *Flexible Manufacturing System*) representam a mais recente contribuição desta cadeia, integrando as operações de manuseio de materiais e de usinagem com todos os processos de tomada de decisão, agendamento e

planejamento. Estes sistemas de produção permitem produzir mediante encomenda ao invés de produzir para estoque [Das e Khumawala, 1990; Lorena e Gómez 1998].

Assim, conforme o advento das novas tecnologias, a manufatura sofreu progressivas transformações, resultando num significativo aumento na produtividade. Segundo Brown [1996], a produção em massa, que imperou absoluta entre 1940 a 1980, vem rapidamente cedendo lugar à “manufatura estratégica”.

A produção em massa se caracteriza por longos ciclos de vida de produtos, medido em anos, em uma produção fixa, inflexível, de demanda estável e conhecida. A fabricação é direcionada para o estoque, com uma pequena variedade e um alto volume. A empresa costuma operar isolada, com a relação fornecedor/comprador fraca ou até conflituosa, além de possuir trabalhadores desqualificados e desmotivados pela rotina.

Já a manufatura estratégica opera com produtos com curto ciclo de vida, medido em meses, em uma produção flexível, orientada para o cliente, de demanda instável e errática. A fabricação visa diminuir ao máximo o estoque, quase que sob pedido do cliente, que requer flexibilidade na escolha da variedade e volume de produtos. A empresa busca a formação de alianças estratégicas, com a relação fornecedor/comprador em nível de parceria, de modo a aperfeiçoar a capacitação da empresa, e seus trabalhadores são motivados pelos contínuos treinamentos e pela multi-qualificação de suas tarefas. Tudo visando a busca de um elevado nível de competitividade.

Competitividade é a capacidade relativa de competição que uma empresa tem para enfrentar a disputa com outras empresas por parcelas crescentes de mercado. Competição é o processo interativo que se estabelece nos mercados, entre os clientes e entre as empresas, através dos atributos dos produtos oferecidos pela empresa, e dos instrumentos de ação criados pelas mesmas, visando atrair clientes e estabelecer preferências entre eles, de forma que a empresa seja dominante nos mercados onde atua [Consalter, 1996]. Para isso, é necessário que se fabrique produtos robustos.

2.1.1 - Robustez do Sistema de Fabricação

Para que qualquer sistema de fabricação possa ser robusto, gerando vantagem baseada em produção, é necessário que cinco objetivos básicos de desempenho sejam alcançados [Slack et al, 1997]. Tais objetivos são descritos a seguir:

2.1.1.1 - Qualidade

O objetivo qualidade pressupõe o desejo de “fazer certo” as coisas. Entretanto, as coisas que a fabricação precisa fazer certo, variam com o tipo de operação. O bom desempenho de qualidade em uma operação não apenas deve levar à satisfação de consumidores externos. Deve também tornar mais fácil a vida das pessoas envolvidas na operação. O grau de importância da satisfação deve extrapolar a meta *cliente externo*, atingindo o *cliente interno*, se possível com a mesma intensidade de satisfação.

Quanto menos erros em cada operação, menos tempo será necessário para a correção e, conseqüentemente, menos confusão e irritação [Slack et al, 1997]. Assim, o tempo que deixa de ser gasto corrigindo e a maior satisfação dos clientes interno e externo pela diminuição de erros, propiciam melhores condições para poder se alcançar os outros objetivos básicos de desempenho.

2.1.1.2 - Rapidez

Considera-se que rapidez significa quanto tempo os consumidores precisam esperar para receber seus produtos. Algumas empresas conceituam rapidez como a necessidade de satisfazer os desejos dos consumidores mais rápido do que antes. Com isto, pretende-se manter ou aumentar fatias de mercado.

Um grande benefício da rapidez de fornecimento para os consumidores externos é que há um enriquecimento na oferta, ou seja, quanto mais rápido o produto estiver disponível para o consumidor, mais provável que este venha a comprá-lo, ou melhor, menos provável que este deixe de comprá-lo por não estar disponível.

A resposta rápida à demanda presente é fruto da rapidez das operações internas, sobretudo pela rapidez da tomada de decisão, da movimentação de materiais e das informações externas da operação. Entretanto, a rapidez interna pode causar benefícios complementares como a redução de estoque e a redução do risco. A redução de estoque entre cada estágio do processo é conseqüência da maior rapidez da movimentação de materiais.

A redução do risco é um fator extremamente importante, pois ninguém sabe o que ocorrerá no futuro. Somente é possível fazer estimativas e garantir um certo grau de confiabilidade. Assim, prever os eventos de curto prazo é menos arriscado do que prever os de longo prazo. Então, a empresa terá maior confiança em suas previsões de vendas para um

período futuro próximo, do que para dois ou três períodos seguintes. Quanto mais à frente previrem, mais provavelmente cometerão erros [Slack et al, 1997].

Pode-se concluir que, quanto mais rápido os materiais se moverem nas operações, mais provável que se estará fabricando o que realmente será exigido por seus consumidores.

2.1.1.3 - Confiabilidade

Confiabilidade significa entregar o(s) produto(s) para os consumidores no prazo especificado. O cliente somente poderá julgar a confiabilidade de uma empresa após o produto ter sido entregue. Cabe ressaltar que a data de entrega deve ser respeitada, isto é, não deve haver atraso ou antecipação de uma entrega. Uma entrega antecipada algumas vezes pode causar estoques indesejáveis ao cliente, pela falta de espaço para o armazenamento, gerando uma confusão desnecessária.

A confiabilidade economiza tempo e dinheiro, e permite que haja estabilidade. A economia de tempo se faz quando tudo chega no tempo exato ao destino certo, caso contrário um determinado cliente, que deveria ter recebido o produto, irá gastar tempo tentando obtê-lo no menor prazo possível junto aos fornecedores de origem, ou outros concorrentes [Slack et al, 1997]. A maior parte deste uso ineficaz de tempo será transformado em custo extra. Do ponto de vista de tempo e custo, a perturbação causada nas operações pela falta de confiabilidade vai muito além deste exemplo. Isto dependerá do estágio em que o produto se localiza na cadeia produtiva, afetando a estabilidade do processo como um todo.

2.1.1.4 - Flexibilidade

A flexibilidade significa ser capaz de mudar a operação de alguma forma, alterando o “fazer”, o “como fazer”, ou o “quando fazer”, mediante uma decisão estratégica. A mudança é a palavra-chave, e deve ir de encontro às exigências de seus clientes. Especificamente, a mudança exigida por eles deve atender a quatro tipos de exigências: a flexibilidade de produto, a flexibilidade de composto (*mix*), a flexibilidade de volume e a flexibilidade de entrega [Slack et al, 1997].

A flexibilidade de produto é a habilidade da empresa fabricar novos produtos, adaptando os recursos de manufatura e possibilitando o lançamento de novos modelos.

A flexibilidade de *mix* significa a habilidade de fornecer ampla variedade de produtos. A maioria dos recursos (equipamentos) do chão de fábrica de qualquer empresa terá que processar mais de um tipo de produto e, às vezes, será necessário deixar uma atividade para se dedicar a outra.

A flexibilidade de volume é a habilidade de alterar o nível de saída (*output*), e isto muitas vezes é necessário para que a empresa possa fornecer conforme a demanda flutuante por seus produtos ou por sazonalidades. Assim, as operações devem acompanhar o volume, flexibilizando-se. A inflexibilidade se faz pela manutenção no nível constante das operações e pode acarretar sérias conseqüências no relacionamento com o consumidor e nos custos operacionais.

A flexibilidade de entrega é a habilidade de mudar a programação de entrega do produto. Geralmente, significa antecipar o fornecimento, por solicitação do cliente, embora possa significar também postergar a entrega.

Em geral, a flexibilidade agiliza a resposta, maximiza a utilização do tempo e mantém a confiabilidade.

2.1.1.5 - Custo

O custo é o último objetivo a ser descrito, porém é o mais importante. Para as empresas que concorrem diretamente em preço, o custo será o principal objetivo de produção. Quanto menor o custo de produção, menor pode ser o preço oferecido a seus clientes, mantendo o mesmo lucro. Mesmo aquelas que concorrem em outros aspectos que não preço, estarão interessadas em baixar custos, pois maior pode ser o lucro mantendo o preço de mercado.

A forma de se influenciar os custos dependerá fundamentalmente de onde estes são incorridos. Os custos de produção podem incorrer em custos com funcionários; custos com instalações, tecnologias e equipamentos; gastos em compras; conservação, operação e substituição; e em custos de materiais, gasto nos materiais consumidos ou transformados na produção.

2.1.2 - Sinergia entre os objetivos básicos

Cada um dos quatro primeiros objetivos de desempenho anteriormente citados afetam os custos, como ilustrado na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Influência da qualidade, rapidez, confiabilidade e flexibilidade, sobre os custos

<i>As operações de alta qualidade não desperdiçam tempo em esforço de retrabalho, nem seus clientes internos são incomodados por serviços imperfeitos</i>
<i>As operações rápidas, principalmente das máquinas gargalo, reduzem o nível de estoque em processo, bem como os custos administrativos indiretos, o que reduzirá o custo global.</i>
<i>As operações confiáveis não causam qualquer surpresa desagradável aos clientes internos. Pode-se confiar que suas entregas serão exatamente como planejado. Isso elimina o prejuízo de interrupção e permite que as outras operações trabalhem eficientemente.</i>
<i>As operações flexíveis adaptam-se rapidamente às circunstâncias mutantes e não interrompem o restante da operação global, permitindo a troca rápida entre as tarefas sem desperdiçar tempo e capacidade reduzindo novamente o custo global.</i>

Uma forma importante de melhorar o desempenho dos Sistemas de Manufatura é promover uma sinergia entre os objetivos de desempenho [Slack et al, 1997], como ilustrado na figura 2.1.

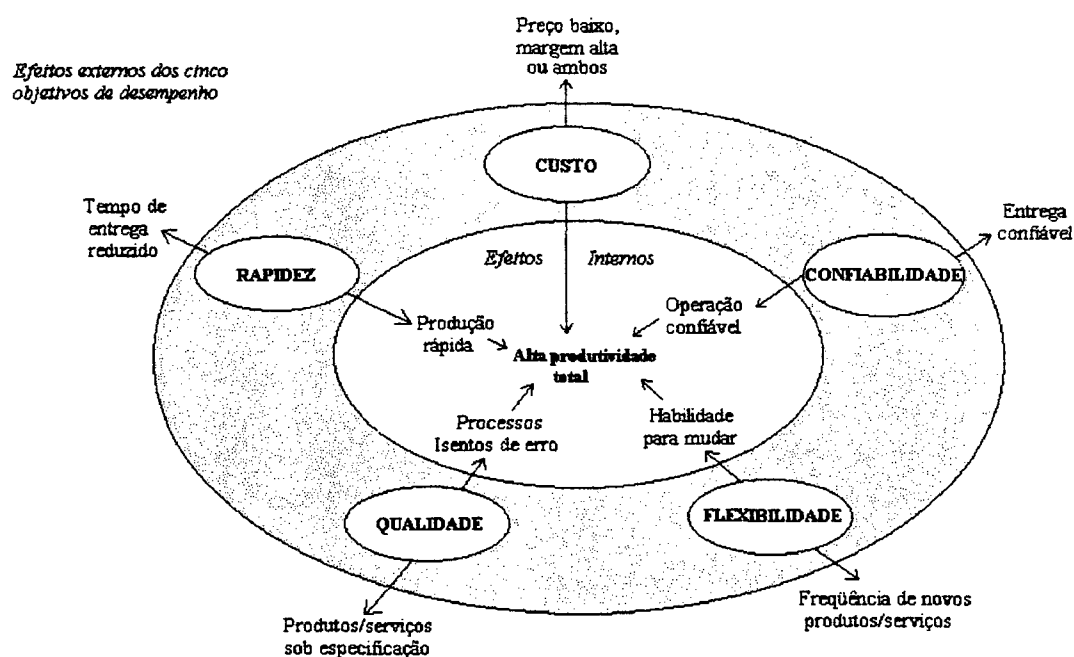


Figura 2.1 – Efeitos dos Objetivos de Desempenho [Slack et al, 1997]

2.1.3 - Tecnologia de Grupo

Com o advento do computador deu-se um pronunciado avanço na capacidade de produção dos sistemas de fabricação. Entretanto, surgiu uma nova dificuldade, ou seja, a necessidade de criar novos métodos de organização, que permitissem a migração da produção entre as diversidades dos produtos em um sistema de fabricação em comum. Assim, constatou-se

a necessidade de utilização de diversas tecnologias, metodologias e até filosofias. Entre elas, pode-se citar a Tecnologia de Grupo (GT).

O conceito de Tecnologia de Grupo (GT) foi primeiramente discutido por Mitrofanov em Leningrado na Rússia em 1966 [Pereira, 1997]. O conceito de GT é fundamentalmente simples, mas com um grande potencial. Basicamente, é uma metodologia de organização onde as peças são identificadas e agrupadas juntas constituindo famílias, de modo a aproveitar as vantagens de similaridade em processos e/ou projeto, em todos os setores da organização. Assim, uma família de peças é definida como um conjunto de peças similares, as quais podem ser produzidas usando o mesmo conjunto de recursos, que constituem uma célula de fabricação [Pereira, 1995].

O conceito de GT despertou a atenção da comunidade da manufatura, e sua essência utiliza as similaridades da ocorrência de tarefas de três modos: pela execução de atividades similares juntas, de modo a evitar desperdícios de tempo na troca entre atividades; pela padronização de atividades relativamente próximas, deste modo focalizando somente as diferenças e evitando uma duplicação desnecessária de esforço; e pela eficiente armazenagem e recuperação da informação referente a problemas que ocorrem periodicamente. Deste modo, tem-se a redução do tempo na busca da informação e a eliminação da necessidade de solucionar novamente o problema [Hyer e Wenmerlöv, 1990; Fernandes, 1990].

A GT é predominantemente aplicada para itens adquiridos e peças fabricadas. Quando os engenheiros classificam as peças e as relacionam a uma família em particular, as similaridades entre itens é determinada basicamente sob três orientações quanto ao seu objetivo, que podem ser:

- classificação orientada por características de projeto;
- classificação orientada por identidade de processos; e
- classificação orientada por identidade de rotas [Lorini, 1993].

Um sistema de codificação é uma metodologia de formação de um código numérico ou alfanumérico com a finalidade de expressar características de um objeto ou processo. Embora todos os departamentos de uma organização possam se utilizar de um sistema de codificação, este deve ser concebido em função do segmento produtivo. Tais sistemas podem ser enquadrados em três categorias, a saber:

- sistema de codificação baseado em características de projeto;
- sistema de codificação baseado em características de manufatura; e
- sistema de codificação baseado tanto em características de projeto, quanto em características de manufatura [Lorini, 1993].

Vários sistemas vêm sendo desenvolvidos como DCLASS (EUA), MICLASS (Holanda), OPITZ (Alemanha) e KK-3 (Japão), entretanto a utilização destes ainda é bastante restrita a casos particulares [Lorini, 1993; Pereira, 1997; Yyer e Nagi, 1997].

A engenharia e o planejamento da produção têm duas tarefas importantes que se constituem no agendamento e planejamento do processo.

O trabalho de agendamento ajusta a ordem em que as peças devem ser processadas e determina o tempo previsto para completar as operações e as ordens de serviço. Já o planejamento do processo decide o seqüenciamento de máquinas pelo qual a peça deve passar e as operações que devem ser executadas em cada máquina, além de selecionar as ferramentas, gabaritos e dispositivos de fixação, bem como toda a documentação com dados de tempo padrão de execução, associado com cada operação, e de preparação de máquina. O planejamento do processo afeta diretamente a eficácia do agendamento.

O agrupamento de peças em famílias com características similares de manufatura reduz o tempo gasto em ajustes das peças e das ferramentas. Em pequenos e médios lotes, o esforço na redução no tempo gasto em ajustes se faz mais importante. Neste tipo de produção, as máquinas estão agrupadas de acordo com as funções. O tempo total da peça no sistema é extremamente alto quando comparado com o tempo efetivo de produção, normalmente não mais de 5%.

A criação de famílias de peças e a dedicação de certas máquinas para o exclusivo processamento desta família traz várias vantagens, que são as seguintes:

- haverá uma menor interferência entre o fluxo de materiais entre cada máquina;
- tempo de ajuste será reduzido desde que ferramentas e dispositivos de fixação comuns possam ser desenvolvidos para as peças de uma mesma família processada nesta estação;
- a qualidade das peças pode ser melhorada, pois a variedade de peças que fluem pela estação foi reduzida, devido à dedicação da estação a uma determinada família.

Outro aspecto interessante sobre GT é a associação desta ao planejamento do processo auxiliado por computador (CAPP). Os maiores ganhos de produtividade acontecem com a criação de um plano de processo confiável que vai determinar como a peça deve ser produzida. Com o CAPP associado à GT é possível padronizar tais planos e reduzir a necessidade de elaboração de novos planos, além de permitir que a armazenagem, a recuperação, a edição e a impressão dos planos sejam feitas com maior eficiência.

Normalmente não existe um procedimento formal para o planejamento do processo: em geral, a cada nova peça o processista baseia-se no desenho e escolhe as máquinas que irão processá-la e os respectivos operadores, além de uma seqüência determinada.

Existem duas razões básicas que levam as empresas a terem planos de processos em excesso. A primeira, é que as mesmas têm vários processistas e cada um faz um plano diferente para a mesma peça. A segunda, é que o planejamento do processo é desenvolvido levando em conta a configuração momentânea do maquinário. Quando um novo equipamento é adquirido, há a necessidade de adequação dos planos anteriormente gerados, e isto raramente é feito.

Sistemas CAPP pode ser classificados segundo as seguintes categorias: o Sistema CAPP Variante, que utiliza os recursos da GT, onde um plano padrão é criado e armazenado para cada família de peças; e o Sistema CAPP Generativo, no qual o computador cria um plano do processo automaticamente. Este último é bem mais complexo, e em muitos casos utiliza a abordagem de sistemas especialistas (inteligência artificial) [Ferreira, 1996].

O CAPP variante permite a criação de toda a documentação necessária com confiabilidade em um curto intervalo de tempo, evitando os erros dos planos gerados manualmente, que necessitam de pelo menos 30% do tempo de elaboração do plano para serem redigidos manualmente [Chevalier, 1990]. Ele traz vantagens quanto à armazenagem destes planos e na determinação de processos economicamente mais viáveis. Com o auxílio da GT podem ser criados programas NC com grande economia de tempo e alta confiabilidade [Chevalier, 1990].

A utilização de codificação de peças é útil para elaboração de novos projetos, através da padronização, bem como para evitar o desperdício no tempo de elaboração e na criação desnecessária. Geralmente as empresas desenvolvem um novo projeto para cada nova peça, o que gera um custo elevado face à grande quantidade de peças lançadas no mercado. A necessidade de criar famílias de peças evita a proliferação de projetos, pois é possível recuperar partes dos mesmo mediante a inclusão de uma nova peça à família, proporcionando assim uma economia.

Devido a isto, há necessidade de se criar normas padronizadas para tolerâncias, dimensões, ângulos e outras especificações para atender tanto o projeto quanto a manufatura, de modo a evitar desperdícios e diminuir o custo final da peça, face às restrições e custos de manufatura. A inclusão de uma nova peça mediante a utilização de famílias com o auxílio do computador permite que o projetista reaproveite partes do projeto de uma peça similar, editando a mesma e alterando determinadas especificações de modo a obter a nova peça, reduzindo a possibilidade de erros e o tempo de projeto.

GT também pode ser aplicado a compras, pela criação e atribuição de códigos a cada componente ou matéria-prima comprada, bem como informações sobre seus fornecedores, de

modo a concentrar e aumentar o volume de compras com um determinado fornecedor, aumentando a capacidade de negociar melhores preços e prazos.

Outra aplicação interessante é em vendas. No caso de receber uma encomenda de uma nova peça, pela consulta a uma peça similar de uma mesma família é possível estimar qual o custo de fabricação, bem como se a empresa é capaz de produzi-la, além do tempo necessário à produção do lote.

Também é útil na determinação de conseqüências econômicas que determinadas modificações podem trazer ao custo final de produção de peças. Por exemplo, através da mudança da especificação da matéria-prima que tem novo preço, é possível determinar as conseqüências da alteração no custo de manufatura e no custo final da peça

GT utiliza a filosofia da similaridade e da padronização. Deve-se ter bastante atenção na seleção de um ou mais sistemas de codificação. A inclusão de um novo sistema requer mudanças de métodos e de antigos procedimentos, e sua aplicação pode não ser instantânea, sendo que em alguns casos leva-se de 2 a 3 anos para sua instalação, particularmente se a produção celular for instituída.

Resistência a mudanças é um problema universal em qualquer organização e pode aparecer de diversas formas, dependendo do tipo de percepção dos empregados sobre a condição e segurança de sua função, face à nova situação e adaptação [Hyer e Wenmerlöv, 1990]. A mudança afeta os projetistas pela padronização da nova forma de projetar; os técnicos no chão-de-fábrica pela adição de novas tarefas e pelo aumento da responsabilidade através de novas regras de trabalho; os processistas e o pessoal de agendamento são afetados pela própria inclusão de uma filosofia celular; o pessoal responsável pela codificação e classificação sentem dificuldades em se adaptar aos códigos propostos e geralmente criam seus próprios, conforme as peculiaridades de cada empresa; e os responsáveis pela manutenção de máquinas, a qual deve ser mais enfática.

É possível constatar entre a maioria das empresas que adotam GT uma redução significativa dos custos de manuseio de material, das despesas com ferramentas e dispositivos de fixação, do esforço do controle e planejamento da produção, do espaço necessário ao chão-de-fábrica, do esforço dedicado à elaboração do projeto, da quantidade de documentação necessária, além de um substancial aumento da qualidade final do produto acabado, da satisfação pessoal dos técnicos, bem como, da facilidade de acesso aos dados e previsão de custos [Hyer e Wenmerlöv, 1990].

A seleção do sistema de codificação e adequação do pessoal ao mesmo é oneroso e leva tempo; entretanto, a firma Otis Engenharia, localizada no Texas, EUA, levou 18 meses para

treinar seu pessoal e recuperou o custo do investimento nos 9 meses subsequentes [Hyer e Wenmerlöv,1990].

O custo da aplicação da tecnologia de grupo pode parecer desanimador principalmente quando não se visualiza os benefícios potenciais desta técnica. A utilização de GT implica em mudanças na estrutura da organização e das pessoas, além de ser oneroso. Entretanto, o potencial de crescimento é substancial e permite que a gerência da empresa consiga analisar de forma clara as estratégias a serem adotadas, tornando-se assim cada vez mais competitiva no mercado.

2.1.4 - Sistema de Manufatura Celular

O maior avanço conseguido com GT consiste na criação da células de manufatura. A célula é um conjunto de máquinas-ferramenta e equipamentos de transferência de material agrupados para processar uma ou várias peças de uma família. Preferencialmente, a peça deve ser totalmente usinada dentro da célula.

As vantagens de uma produção celular são inúmeras, principalmente quando são utilizados dispositivos de transporte automáticos entre as estações. E este tipo de configuração representa um sistema de produção híbrido, onde a diversidade de operações passíveis de serem executadas produzem uma grande variedade de peças em massa.

A alocação de equipamentos para um subconjunto de peças reduz a interferência do transporte, melhora a qualidade, faz com que os materiais sejam fixados mais eficientemente, diminui os tempos de execução e de ajustagem de máquinas, além de diminuir os inventários e o tempo no sistema. Estes benefícios são alcançados com um novo arranjo físico das máquinas dentro de uma célula.

O gerente da firma Otis Engenharia estimou, numa primeira análise, que eram gastos US\$ 5 milhões em ajustes de máquinas [Hyer e Wenmerlöv,1990]. A magnitude da economia em potencial foi demonstrado pelo resultado da instalação da primeira célula na Otis, que resultou numa economia de 35% no tempo de ajuste de máquina (isto é, US\$ 1,750,000).

A mudança do leiaute da fábrica causa implicações organizacionais e comportamentais. As células geralmente têm mais máquinas que operadores, e isto representa uma descentralização de tarefas, pois cada operador irá controlar várias máquinas e processos. Neste tipo de arranjo, pode ser explorado a atribuição da responsabilidade da inspeção de qualidade ao operador da célula, pois o mesmo acompanha desde a matéria-prima até o produto acabado.

Outro problema bastante comum no leiaute celular é o de balanceamento da célula, onde se forma um gargalo, que corresponde a uma certa máquina dentro de uma célula com alta taxa

de ocupação, enquanto as demais tem alta taxa de ociosidade. Este tipo de problema resulta numa importância ainda maior do sistema de planejamento e controle da produção.

A integração de células GT a um sistema agendador como MRP (planejamento de materiais necessários) pode causar um novo conjunto de problemas, pois os sistemas MRP trabalham com tempos de execução de peças individuais, enquanto a produção celular trabalha com alta produção de famílias de peças [Hyer e Wenmerlöv, 1990]. A utilização destes sistemas juntos exigirá um novo procedimento para o planejamento e agendamento.

Cabe ainda ressaltar duas considerações sobre a produção celular. A primeira é que ainda não existe procedimento formal largamente aceito e estabelecido sobre células de manufatura. No futuro os sistemas de simulação serão utilizados para este fim [Hyer e Wenmerlöv, 1990]. Em segundo lugar, se for feita a implementação de células na planta já existente, visando aproveitar as vantagens deste arranjo para incorporar a todas as peças, isto não solucionará o problema de maneira efetiva, pois a flexibilidade de manuseio e fixação de peças dentro da mesma família será perdido.

2.1.5 - Sistema Flexível de Manufatura

O Sistema Flexível de Manufatura (FMS) incorpora sistemas automatizados de manuseio de materiais, robôs, máquinas CNC, inspeção, e GT em um sistema de produção singular, cuja a integração é controlada por uma rede hierárquica de computadores [Friedrich, 1996].

O FMS pode ser universalmente utilizado como um sistema de produção, entretanto a aplicação principal tem sido em operações de usinagem para médio volume e lotes de produção variados. Um exemplo de FMS é a fábrica LTV na periferia de Dallas, EUA [Das e Khumawala, 1990], que pode usinar mais de 500 peças diferentes. As células de manufatura são estações de trabalho altamente automatizadas e semi-independentes, isto é, incorporam controladores poderosos e sistemas de auto-diagnóstico. Elas são capazes de mudar ferramentas e peças, e podem ser dedicadas ou versáteis, com operações funcionais múltiplas.

Ligações entre as estações de trabalho são feitas geralmente por veículos guiados automaticamente (AGV). Existem sistemas responsáveis pelo manuseio do material carregando e descarregando as estações. Um sistema central de computadores interconectado por uma estrutura de controle hierárquica coordena as funções a tempo real. O capital investido naquela fábrica foi de US\$10 milhões, com um tempo de implantação de 19 meses.

2.1.5.1 - FMS no contexto da manufatura

Neste item, cabe uma análise de três contextos distintos. A produção em fluxo contínuo, como em uma refinaria de petróleo, ou em fluxo discreto, como em linhas de montagem de um único produto. Estes utilizam métodos de produção em massa, e para isto necessita-se de alto investimento de capital e somente pode ser justificado por produção de alto volume e baixa variedade. Para o outro contexto, o do campo da alta variedade, baixo volume e produção em lotes, as máquinas CNC são largamente utilizadas.

Resta o contexto intermediário, que corresponde a um volume de produção com média de tamanho de lote entre 10 e 1000. Estima-se que 25% de toda a produção dos EUA na década de 80 era feita em lotes com menos de 50 unidades, enquanto que previa-se um aumento para 75% na década de 90 [Das e Khumawala, 1990]. Estes volumes não justificam linhas *transfer* dedicadas, entretanto são grandes para serem manuseados eficientemente em CNC isolados.

Pode-se identificar problemas na produção de pequenos e médios lotes na indústria de manufatura. A baixa utilização de máquinas é um problema comum, pois o tempo efetivo de usinagem não passa de 10%, visto que 90% é gasto em tempo de espera em filas em diferentes máquinas. Isto naturalmente resulta em aumento no *lead time*, que se agrava com quebra de máquinas e produção com gargalo. O *lead time* é o tempo total necessário para transformar a matéria-prima em produto acabado, incluindo tempos de *setup*, em fila, de movimentação e de processamento [Pereira, 1995; Cox et al, 1995].

O alto custo da mão-de-obra causado pelo manuseio intensivo de diferentes peças e lotes entre máquinas, causam um aumento do estoque intermediário (WIP - *work in process*), que resulta no aumento de capital em processo e problemas de espaço. O WIP é a quantidade de um produto (ou de produtos) nos vários estágios de produção, que estão em fase de processamento na fábrica, desde o estado em bruto, que estejam esperando para dar início a algum processo, até o produto final, que esteja esperando inspeção final [Cox et al, 1995].

O FMS alivia estes problemas, além de oferecer outras vantagens [Das e Khumawala, 1990]:

- aumento da utilização de capital, pois a alta eficiência pode ser adquirida pelo agendamento computadorizado, e por pré-fixação das peças em *pallets* (dispositivo de fixação);
- a redução do custo de mão-de-obra direta;
- a diminuição do WIP e *lead time*;
- aumento da capacidade de resposta à necessidade de mudanças na produção;

- aumento da qualidade do produto;
- aumento da produtividade, que pode ser de 2 a 3,5 vezes, resultante do aumento da utilização das máquinas e diminuição do *lead time*;
- a diminuição do custo de produção, podendo chegar a reduções de até 50% no custo de produção, e associado ao aumento de qualidade proporciona vantagens competitivas sobre empresas com manufatura convencional.

2.1.6 - Novas Tendências

Mais recentemente, três linhas de pesquisa têm chamado a atenção, que estão em fase de desenvolvimento, todas baseadas em metáforas qualificadoras apoiadas em elementos da natureza. Assume-se que as mudanças de paradigmas na indústria da manufatura afetarão profundamente o projeto e a operação dos sistemas de fabricação, os quais serão substituídos por estruturas mais orgânicas e inovadoras. A proposta por detrás destas linhas vai de encontro a conglomerados de unidades distribuídas que operem cooperativamente.

2.1.6.1 - Sistema de Manufatura com Abordagem “Biônica”

O conceito de Sistema de Manufatura com Abordagem “Biônica” faz analogia com os princípios que regem a biologia para definir as propriedades básicas dos sistemas de manufatura, pressupondo que estes possam se comportar com a mesma espontaneidade e harmonia da natureza. Imagina-se uma unidade de produção no chão-de-fábrica, como uma célula viva na biologia, e como tal ela seria isolada do mundo externo por uma membrana através da qual trocaria substâncias, que para o caso da manufatura seria energia, informações e materiais. Há ainda, a existência de unidades coordenadoras que agem como as enzimas nos seres vivos, disciplinando e harmonizando as ações das células. Uma estrutura hierárquica é assumida onde células vivas formam um órgão, que por sua vez associados a outros, formam os seres vivos e, daí, uma sociedade de seres vivos. Outra característica é o aproveitamento de princípios de divisão genética de células na modelagem do sistema de manufatura, no qual o DNA exerce o papel de transmissor da estrutura genética, que para o caso da manufatura funciona como transmissor da estrutura do sistema de informações.

As pesquisas em torno deste sistema estão sendo lideradas por grupos japoneses de pesquisa, com adesão mais recente de pesquisadores europeus [Lepikson, 1998].

2.1.6.2 - Sistema de Manufatura com Abordagem “Fractal”

O conceito de Sistema de Manufatura com Abordagem “Fractal” aproveita-se da analogia com a geometria fractal, cuja principal característica é a auto-similaridade, pelo comportamento recursivo segundo padrões que se repetem. Os fractais são auto-regulados e agem independentemente, assim para que haja consistência e coerência é estabelecido um mecanismo baseado na cooperação e integração entre fractais, regulados por um sistema de herança de características. Isto é operacionalizado através de dois sistemas: o primeiro é um sistema de informação, que fornece os dados necessários para manufaturar produtos e alocar os recursos para tal; e o segundo é o sistema de navegação, que dá suporte à independência das unidades através da avaliação e otimização constantes da sua posição e seu progresso frente aos objetivos estabelecidos ou revisados.

Os fractais são interpretados em 6 dimensões: cultural, estratégica, sócio-psicológica, financeira, informacional e tecnológica [Lepikson, 1998]. O conceito em torno de Sistema de Manufatura com Abordagem “Fractal” vem da Alemanha e encontra os principais adeptos entre os consórcios europeus de pesquisa.

2.1.6.3 - Sistema de Manufatura com Abordagem “Holônica”

Esse conceito advém de um neologismo cunhado na década de 60. Hólon significa uma entidade que ao mesmo tempo significa “o todo” (“holos”, em grego). Assume-se que um sistema complexo evolui mais rápido e consistentemente se houver formas intermediárias estáveis, e que a noção de todo e de parte na realidade são abstrações, já que não existem nos domínios da natureza. Com isto, hólons são unidades completas, representando o todo, e partes de um todo maior, ou seja, um conjunto de hólons formando um hólon maior.

Pode-se fazer um paralelo com a manufatura considerando uma célula, que seria um hólon, como parte de um conjunto de células, que formam um sistema, que por sua vez também é um hólon, e este sistema como parte de um conjunto de sistemas dando origem a uma fábrica, que novamente constitui um hólon e assim sucessivamente. Entretanto, existe uma hierarquia funcional, porém cada hólon é autônomo e regido por regras limitantes que definem configurações estruturais, os padrões funcionais e as estratégias, conforme as contingências ambientais. As relações entre os hólons podem ser em nível de cooperação para hólons de mesmo nível hierárquico, ou em nível de coordenação, por parte de um hólon com hierarquia superior em relação ao conjunto de hólons imediatamente inferior.

Atualmente o Sistema de Manufatura Abordagem “Holônica” é motivo de um grande consórcio de pesquisa envolvendo universidade e empresas americanas, européias, japonesas e australianas [Lepikson, 1998].

2.2 - ENGENHARIA DE SOFTWARE

O objetivo desta seção consiste em buscar noções e conceitos básicos sobre a arte de confecção de softwares, identificando os fatores de qualidade de software e o projeto orientado a objeto.

Pretende-se absorver uma noção dos procedimentos e metodologias de confecção de softwares; entretanto não se tem a pretensão de confeccionar o plano do sistema como um todo. Este deve ser estudado por especialistas em análise de sistemas, face à quantidade e à complexidade das atividades envolvidas, o que foge ao escopo desta dissertação de mestrado.

2.2.1 - Retrospecto sobre software

O contexto em que houve progresso na área de software está estreitamente relacionado a quase 5 décadas de evolução dos sistemas computadorizados [Pressman, 1995].

Quando se iniciou a evolução dos sistemas computadorizados, nos anos 40, grande parte dos esforços e conseqüentes custos era concentrado no desenvolvimento do hardware. No início dos anos 50, à medida que a tecnologia de hardware foi sendo dominada, as preocupações se voltaram ao desenvolvimento de sistemas operacionais, das linguagens de programação de alto nível, como FORTRAN e COBOL, e dos respectivos compiladores.

Com o avanço dos sistemas operacionais com características de multiprogramação, no início dos anos 60, a eficiência e utilidade dos sistemas computacionais tiveram um considerável crescimento, dada também a crescente e progressiva queda de preços do hardware.

Como consequência deste crescimento, houve a necessidade do desenvolvimento de grandes sistemas de software. Com isto, surgiu um problema pela falta de experiência e pela não adequação dos métodos de desenvolvimento existentes para os pequenos programas, que eram constantes na época. Este fato caracterizou a chamada “crise de software” na década de 60 e permitiu o surgimento do termo “Engenharia de Software” [Pressman, 1995].

Atualmente, apesar da constante queda dos preços dos equipamentos, o custos de desenvolvimento de software não obedecem a mesma tendência. Este custo apresenta um aumento percentual no custo final de um sistema informatizado, pois a tecnologia de

desenvolvimento de software ainda implica em uma grande carga de trabalho, um grande número de pessoas envolvidas e um prazo relativamente longo de desenvolvimento, conduzindo a freqüentes desrespeitos de cronogramas e acréscimo no custo de desenvolvimento [Farines e Mazzola, 1998].

Para o futuro, espera-se uma intensificação nos problemas associados ao software [Pressman, 1995], principalmente quanto à incapacidade de construir adequadamente programas que atendam, em tempo hábil, ao progressivo aumento de demanda.

2.2.2 - Aspectos do software

Pode-se definir software, numa forma clássica, como sendo um conjunto de instruções que quando executadas, produzem uma função e um desempenho desejados, por meio de estruturas de dados que permitam que as informações relativas ao problema a resolver, sejam manipuladas adequadamente, agregadas à documentação necessária para o melhor entendimento da sua operação e uso [Pressman, 1995].

Entretanto, no contexto da Engenharia de Software, um software é um produto a ser vendido que é sistematicamente utilizado por pessoas outras que seus programadores, geralmente com formação e experiências diferentes. Isto significa que a grande preocupação no que diz respeito ao desenvolvimento do produto deve se voltar à qualidade do mesmo e à interface de comunicação com o usuário, que deve ser amigável.

Genericamente, pode-se definir qualidade como sendo a capacidade de um produto ou serviço atender perfeitamente, de forma confiável, acessível, segura, e no tempo certo às necessidades dos seus usuários [Campos, 1992].

Os fatores de qualidade podem ser divididos em fatores externos e internos. Os fatores de qualidade externos são aqueles passíveis de detecção principalmente pelo cliente. A partir da observação destes fatores o cliente irá tirar conclusões sobre a qualidade do software. Enquadram-se nesta classe de fatores a corretude, a facilidade de uso, a robustez e a extensibilidade, tais conceitos são explicados a seguir:

- Corretude - capacidade dos produtos de software realizarem suas tarefas de forma precisa, conforme definido nos requisitos e na especificação, e se constitui o principal fator, pois nenhum outro poderá suprir a ausência de um produto correto.
- Facilidade de Uso - certamente é um dos fatores mais detectados pelo usuário, que deve usufruir de boas condições de navegação pelas diversas opções disponíveis.

- **Robustez** - capacidade do sistema funcionar mesmo em condições anormais. É um fator diferente da corretude, pois um sistema pode ser correto sem ser robusto, ou seja, o seu funcionamento vai ocorrer somente em determinadas condições. Para isto deve se ater ao desenvolvimento de rotinas de tratamento de erros e sinalização de condição anormal.
- **Extensibilidade** - facilidade pela qual se pode introduzir modificações nos produtos de software.

Os fatores de qualidade internos são aqueles que estão mais relacionados à visão de um programador, particularmente ao que vai assumir as tarefas de manutenção do software. Nesta classe estão fatores como a modularidade, a portabilidade, a compatibilidade e a reusabilidade, tais conceitos são explicados a seguir:

- **Modularidade** - capacidade de particionar o software em módulos gerenciáveis.
- **Portabilidade** - consiste na capacidade de um software ser instalado para diversos ambientes de software e de hardware. Nem sempre é fácil de se obter devido às diversidades existentes nas diferentes plataformas, em termos de processador, composição dos periféricos e sistemas operacionais distintos.
- **Compatibilidade** - corresponde à facilidade com a qual produtos de software podem ser combinados com outros. Este é um fator importante pois um software trabalha convivendo com outros. A falta de interação pode ser uma causa do abandono da utilização do mesmo.
- **Reusabilidade** - capacidade dos produtos de software serem reutilizados, totalmente ou em parte, para novas aplicações. Este fator permite atingir uma grande economia e um nível de qualidade satisfatório na produção de novos produtos de software, dado que um menor número de linhas de programa precisa ser escrito, o que significa menos esforço e menor risco de ocorrência de erros.

2.2.3 - Fases do Processo de Desenvolvimento

De um modo geral, todos os modelos de desenvolvimento se valem de três grandes fases, que são as seguintes:

- Fase de definição estando associada à determinação do que vai ser feito. Identifica-se as informações que deverão ser manipuladas, as funções a serem processadas, o nível de desempenho desejado, as restrições do projeto e os critérios de validação.
- Fase de desenvolvimento, onde será determinado como realizar as funções do software. Esta fase envolve o projeto do software, a codificação e os testes para garantir corretude.

- Fase de manutenção, que é iniciada a partir da entrega ao cliente, caracterizando-se pela realização de alterações de natureza diversa. Estas atividades podem ser: de caráter corretivo, a qual consiste de correção de erros observados durante a operação do sistema; de caráter adaptativo, a qual se realiza alterações no software para que ele possa ser executado em um novo ambiente; ou de caráter perfectivo, onde são realizadas alterações para melhorar alguns aspectos do software, como desempenho, interface, introdução de novas funções, entre outras.

2.2.4 - Programação Orientada a Objeto (POO)

Os problemas existentes na produção de sistemas computacionais complexos, a um baixo custo de desenvolvimento e manutenção, levaram os profissionais da área à pesquisa de novos paradigmas de programação.

A Programação Orientada a Objeto (POO) tem se incorporado, cada vez mais, ao ambiente da comunidade científica. A POO é uma metodologia bastante promissora para o desenvolvimento e manutenção de grandes e complexos sistemas de programação, e propõe um modelo de computação baseado em “objetos” [Girard e Price, 1990].

Um objeto é uma entidade com capacidade de armazenar informação e manipulá-la. É expresso através de sua estrutura de dados e de seu comportamento, que por sua vez é descrito por um conjunto de métodos. A seguir são feitas algumas definições:

- Objeto - funciona como uma referência ou um indicador que localiza o dado relativo ao objeto, que está armazenado na área de memória de armazenamento temporário do computador.
- Método - descrição do comportamento associado a um ou mais objetos, definindo um conjunto de operações a serem efetuadas sobre seus dados, no momento em que ele receber uma mensagem explícita. Os componentes de um método são a sua interface, onde se descreve o que o método faz, e a sua implementação, onde se descreve como o método faz.
- Mensagem - mecanismo de comunicação entre objetos, através da qual se desencadeia a execução de um método específico.
- Classe - pode ser definida como uma coleção de objetos similares. Nelas são descritas a estrutura de dados e o comportamento de um ou mais objetos similares que têm seus dados estruturados da mesma forma e são manipulados pelos mesmos métodos. Cada objeto é uma instância de uma classe, e diferenciam-se entre si, pelo seu estado, isto é, pelos valores de seus dados.

- **Instância** - materialização de um dos objetos descritos por uma classe. Assim, todas as instâncias de uma classe usam o mesmo método para responder a um tipo particular de mensagem.
- **Classe de Objetos** - descrita abstraindo seus dados, isto é, ela fica totalmente caracterizada pelas propriedades externas de seu objetos (sua interface) e não pela sua representação interna (a implementação de sua estrutura de dados).
- **Herança** - mecanismo que permite definir uma nova classe a partir de uma classe já existente. A classe criada se diz subclasse da classe existente. Por sua vez essa classe já existente é chamada de superclasse da classe criada. A subclasse herda a estrutura de dados e os métodos da superclasse, podendo adicionar variáveis na estrutura de dados herdados, bem como adicionar novos métodos e reescrever os métodos herdados.

Quando uma mensagem é mandada para um objeto, a procura do método correspondente começa pela classe do objeto. Se o método não for encontrado, a procura continua na sua superclasse. Uma subclasse pode ser superclasse de outra classe, podendo assim haver uma hierarquia de classes.

- **Herança Múltipla** - mecanismo que permite a uma classe herdar as descrições de várias superclasses e, como na herança simples, permite também adicionar métodos e variáveis à estrutura de dados, assim como reescrever métodos.
- **Polimorfismo** - Ao receber uma mensagem para efetuar uma operação, é o objeto que determina como a operação deve ser efetuada, pois ele tem comportamento próprio. Assim sendo, como a responsabilidade é do receptor e não do emissor, pode acontecer que uma mesma mensagem ative métodos diferentes, dependendo da classe de objetos para onde é enviada a mensagem. Esta propriedade caracteriza o polimorfismo. Assim, o polimorfismo permite a criação de várias classes com interfaces idênticas e implementações diferentes, promovendo o desenvolvimento de protocolos padrões.
- **Protocolo Padrão** - é uma interface compartilhada por várias classes de objeto e facilita o reuso de classes, minimizando o vocabulário que o projetista precisa conhecer.
- **Classe Abstrata** - é uma classe especial que pode não possuir estrutura de dados, e somente define um conjunto de métodos em termos de outros métodos não definidos na classe, e que serão implementados nas suas subclasses. As classes abstratas são utilizadas como esqueletos, e nas subclasses são completadas algumas opções reusando o código do esqueleto da classe abstrata. São construídas, em geral, como raízes das hierarquias de classes, e obviamente não são classes instanciáveis.

A POO oferece soluções para atender os requisitos de reusabilidade, manutenibilidade e confiabilidade dos produtos de software, permitindo incrementar a qualidade das aplicações e a produtividade do desenvolvimento.

Face à gama de possibilidades oriundas das heranças, foi possível desenvolver uma Base de Objetos de Software (BOS) ou Biblioteca de Classes, que é um conjunto de classes de objetos potencialmente reutilizáveis na construção de aplicações segundo um desenvolvimento orientado a objeto. Uma BOS possui um conjunto de classes, chamadas classes originais, que proporcionam funcionalidades básicas do ambiente.

A propriedade de reusabilidade é incorporada quando novas aplicações são construídas, basicamente integrando componentes de software (classes) pré-fabricados e selecionados da BOS. As classes de uma BOS podem ser reutilizadas segundo diferentes métodos, dentre os quais se incluem:

- por instanciamento, onde novos objetos são obtidos instanciando-se uma classe da BOS;
- por herança, onde novas classes de objetos são criadas herdando funcionalidades de classes existente na BOS;
- por classes abstratas ou implementação diferida, onde a funcionalidade das classes abstratas da BOS é especificada sem fornecer implementação parcial ou total.

As técnicas de desenvolvimento de software por objetos enfatizam a implementação de classes reusáveis. Reescrever uma nova classe para torná-la mais reusável é tão importante como criar uma nova classe.

É interessante salientar que no desenvolvimento orientado a objeto, o custo de produção de cada classe de objetos projetada é dividido entre todas as aplicações que a utilizam, com redução considerável do custo por aplicação. Uma vez que um conjunto importante de classes reusáveis esteja disponível na BOS, as aplicações são implementadas em um prazo mais curto devido à redução do esforço de especificação e programação.

As aplicações desenvolvidas segundo este paradigma apresentam um maior grau de confiabilidade, já que utilizam classes previamente definidas e, portanto, já testadas.

As facilidades deste paradigma são aplicáveis à fase de manutenção, pois pela abstração de dados é possível localizar o efeito das mudanças nos requisitos do sistema nas classes de objetos a serem modificadas; pelo polimorfismo é possível reduzir o número de métodos que o projetista de manutenção deve compreender; e pelo mecanismo de herança, que permite que novas versões de um programa possam ser construídas sem afetar as antigas.

Durante o desenvolvimento de protótipos é possível economizar tempo pela reutilização de classes. Assim, é possível colocar rapidamente à disposição do cliente um sistema funcionalmente correto para uso experimental e testar realisticamente os requisitos especificados, tornando possível convergir mais rapidamente a um produto que satisfaça as necessidades do cliente.

A grande dificuldade na utilização em larga escala deste paradigma é a necessidade de superar a força da cultura tradicional da programação estruturada, que produz resistências na forma de conceber e realizar sistemas de software.

2.2.5 - Delphi3 como linguagem de quarta geração

Ao longo de toda história do desenvolvimento de software, sempre procurou-se gerar programas de computador em níveis de abstração cada vez mais elevados. As linguagens de programação de primeira geração trabalham no nível de instruções de máquinas, correspondendo ao mais baixo nível de abstração possível. As de segunda e terceira gerações elevaram progressivamente o nível em que são representados os programas de computador. No decorrer da década passada, as linguagens de quarta geração elevaram o nível de abstração a um ponto ainda mais alto, eliminando a necessidade de especificar detalhes dos algoritmos.

Os geradores de programas representam uma categoria bastante sofisticada de linguagem de quarta geração [Pressman, 1995]. O Delphi3® enquadra-se nesta categoria e possibilita que o usuário crie programas completos fazendo um intenso uso de abstrações procedimentais, tendo sido desenvolvido pela Borland Internacional Inc..

A Borland criou uma estrutura de objetos rigorosa e uma *plugboard* (*Form Designer*) na qual esse objetos se encaixam. Toda a massa de detalhes associada ao comportamento do tempo de projeto, à publicação de propriedades e aos trabalhos estão devidamente alinhados na sintaxe do *Object Pascal*. É limpo, rápido e controlável [Konopka, 1998].

O Delphi3, além de permitir o desenvolvimento orientado a objeto por intermédio do *Object Pascal*, é um ambiente de programação visual que fornece suporte tanto ao engenheiro de aplicação, que tem como responsabilidade gerar aplicações genéricas, como ao desenvolvedor de aplicações, que tem como responsabilidade gerar aplicações específicas a partir de componentes de software gerados pelo engenheiro de aplicações. Além de permitir o desenvolvimento rápido de aplicações de propósito genérico, permitindo fácil acesso a banco de dados por meio de conectividade integrada, permite o desenvolvimento de aplicações cliente/servidor, para Microsoft Windows95® e WindowsNT® [Borland, 1997]. Possui ainda uma biblioteca de

componentes passíveis de serem reutilizados e uma forma de projeto tipo *click-and-drop*, que facilita a confecção do leiaute das telas. Além disto, ele permite o uso de bibliotecas criadas em outras linguagens [Oliveira e Fraga, 1997].

O Delphi3 herdou o seu modelo de objetos da sua linguagem ascendente, o *Object Pascal*, que por sua vez é uma extensão do modelo implementado na versão 7 do Borland Pascal, com recursos equiparados ao C++, e resultou da colaboração de um grupo da Apple Computer com Niklaus Wirth, o desenvolvedor do Pascal no início da década de 70 [Carvalhosa, 1988], cujo nome foi dado em homenagem ao filósofo Blaise Pascal. Em *Object Pascal* é introduzido um novo tipo de dado designado “*object*”, que pode ser considerado como uma extensão do tipo “*record*” do Pascal. Portanto, um objeto em *Object Pascal*, pode ser definido como um descendente imediato de outro objeto, a classe TObject que é a superclasse primária.

O *Object Pascal* como linguagem de programação orientada a objetos é potencialmente útil para a construção de protótipos rápidos, pois suporta acoplamento tardio e permite associação dinâmica de mensagens a métodos, o que favorece a prototipação. Permite também o acesso completo à Interface de Programação das Aplicações (API) do Windows de modo amistoso e fácil [Frerking et alli, 1996].

Cabe ainda ressaltar outra vantagem bastante importante do Delphi3, no que se refere ao sistema interno de ajuda (*Help*). Os arquivos de *Help* oferecem uma série de informações tanto para programadores iniciantes como para especialistas, servindo especialmente como uma valiosa ferramenta de referência. Eles listam todos os métodos e propriedades de cada componente, os parâmetros de cada método, os quais são particularmente importantes quando se está escrevendo código [Cantú, 1996].

2.3 - SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

A simulação computacional de sistemas consiste na utilização de um conjunto de métodos e técnicas matemáticas, com o objetivo de imitar o comportamento de sistemas reais, geralmente utilizando-se computadores e softwares adequados [Kelton et al., 1998]. Pode ser definida como um processo de projetar um modelo de um sistema real, e de procedimentos de experimentos com este modelo, com o propósito de conhecer o comportamento do sistema e/ou avaliar estratégias para a sua operação [Pegden et al., 1995]. Pode-se imitar o comportamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo do mundo real [Freitas Filho, 1997].

Nos últimos anos, sua utilização tem se beneficiado do progresso na tecnologia de computadores, porém ainda existe uma grande carência de especialistas capazes de modelar o

contexto real [Souza et al., 1994]. No passado a simulação era considerada como “o último recurso” [Gaona, 1995; Freitas Filho, 1997]. Hoje é vista como um importante método estratégico de auxílio à tomada de decisão.

A crescente popularidade da simulação tem como razão principal, a possibilidade de se analisar o comportamento de sistemas complexos com múltiplas condições de contorno. A grande maioria dos sistemas reais se enquadram nesta categoria. Outro grande motivo, é o aumento progressivo da razão performance/custo do hardware [Kelton et al., 1998].

Uma das principais etapas de um estudo de simulação consiste na criação de um modelo lógico. Assim, um modelo lógico consiste em um conjunto de suposições e aproximações, devidamente quantificadas e estruturadas, que visam representar o comportamento do sistema real sob determinadas condições, utilizando-o para prever e comparar alternativas lógicas passíveis de serem simuladas.

Um modelo é utilizado também quando se deseja aprender alguma coisa sobre o sistema real que não se pode observar ou experimentar diretamente, ou pela inexistência do sistema real, ou pela dificuldade de manipulação do mesmo [Constantino, 1993], ou pela impossibilidade de sujeitá-lo ao ensaio sem incorrer em custos elevados e gastos de tempo.

A quantidade de simplificações impostas ao modelo influenciará em razão direta na distorção entre os resultados obtidos pelo modelo e pelo sistema real. Os métodos matemáticos tradicionais como teoria de filas, equação diferencial e programação linear fornecem resultados para os sistemas modelados, entretanto a quantidade de simplificações impostas é bem maior do que quando se utiliza os métodos de simulação. Esta também permite a utilização de variáveis aleatórias de modo a representar com maior veracidade o comportamento do sistema real. Portanto este método se constitui em uma das ferramentas de análise mais poderosas disponíveis para a representação de sistema complexos [Kelton et al., 1998].

2.3.1 - Tipos de Modelos de Simulação

Três tipos básicos de modelos de simulação costumam ser empregados, possuindo características peculiares distintas, que os direcionam à aplicabilidade em um determinado tipo de processo decisório envolvido.

Assim sendo, podem ser classificados de acordo com os seguintes propósitos [Freitas Filho, 1997]:

- Modelos voltados à previsão: utilizados para prever o estado de um sistema em algum ponto futuro, baseado nas suposições sobre seu comportamento atual.

- Modelos voltados à investigação: utilizado para buscar informações e desenvolver hipóteses sobre o comportamento de sistemas, sendo que os experimentos recaem sobre as reações do modelo a estímulo normais e anormais.
- Modelos voltados à comparação: utilizados para avaliar o efeito de mudanças nas variáveis de controle permitindo compará-las em função de variáveis de resposta.

É normal ainda uma subdivisão dos modelos em específicos ou em modelos genéricos.

Os modelos específicos são os de curta utilização e geralmente são usados para auxiliar no processo decisório para casos específicos, tais como a análise de compra de equipamento novo, buscando respostas de viabilidade de compra e retorno de investimento, bem como a quantidade necessária. Entretanto, é importante que o profissional desenvolvedor do modelo esteja bastante envolvido com o problema para que os resultados tenham maior credibilidade, e para isto os dados envolvidos devem ser confiáveis, sendo na maioria das vezes coletados para utilização exclusiva do modelo.

Já os modelos genéricos são desenvolvidos face à necessidade de se utilizar modelos que representem o sistema organizacional, periodicamente e por longos períodos. Assim sendo, necessitam ser flexíveis e robustos frente às mudanças nos dados de entrada, nas atividades e nas políticas interna e externa das empresas que os utilizam. Com isto, impera a necessidade de disponibilizar dados recentes e acurados. Em geral, este tipo de modelo faz parte de um conjunto de sistemas voltados ao auxílio à tomada de decisão.

2.3.2 - Partes Integrantes de um Modelo de Simulação

Conceitualmente, modelos de simulação possuem elementos básicos que são: entidade, atributos, variáveis de estado, recursos, filas, eventos e relógio da simulação.

Entidades são objetos dinâmicos que se movem através do modelo, mudam de estado, afetam e são afetados por outras entidades e pelo estado do sistema. São passíveis de criação em um instante determinado, podendo atravessar o sistema e finalmente serem postas para fora do mesmo, ao término do seu processamento. Podem existir, entretanto, entidades que nunca saem do sistema e que circulam continuamente no mesmo. Porém, todas são criadas em um determinado instante pelo software.

Geralmente as entidades representam objetos reais de um sistema real, e assim pode-se ter uma quantidade de tipos distintos representados pelas entidades distintas. Estes tipos

diferentes são passíveis de tratamento diferenciado, podendo ter seqüenciamento, tempo de processamento e prioridades distintas [Kelton et al., 1998].

As entidades possuem características próprias, que as definem e as diferenciam entre si, individualizando-as. Estas características são chamadas de atributos da entidade. O importante a ser ressaltado sobre atributos é que seus valores são associados a entidades específicas, ou seja, o mesmo atributo pode ter valor diferente para entidades diferentes, o que pode caracterizar famílias de peças distintas, diferenciando seus tempos de chegada, e sua prioridade em relação a outras famílias. Pode-se fazer uma analogia com a programação computacional, onde os atributos são as variáveis locais.

A variável global, ou simplesmente variável, é a parte da informação onde se dá o reflexo de algumas características do sistema, podendo existir diferentes variáveis, entretanto cada uma possui uma representação única. Elas são usadas para diferentes propósitos, tais como a representação do estado dos recursos, da quantidade de entidades no sistema, do tempo, e do tamanho de filas, além de permitir o acesso das entidades.

As entidades geralmente competem entre si em busca de um serviço realizado pelos recursos do sistema, que podem ser pessoas, equipamentos ou espaço em área de tamanho limitado. Uma entidade se apossa de um recurso quando ele se encontra disponível, permanece o tempo necessário à execução de um serviço, e o libera ao término. Um recurso pode representar um grupo de indivíduos que prestam serviço, podendo atender a mais de uma entidade.

Quando uma entidade não consegue mover-se para um determinado recurso, como por exemplo, quando este recurso está sendo ocupado por outra entidade concorrente, esta necessita de um local para esperar a liberação do referido recurso. Ao local que tem este propósito dá-se o nome de fila.

Para se ter a medida de desempenho de saída, é necessário manter diversas variáveis de acumulação estatísticas intermediárias monitorando o progresso da simulação. Estes acumuladores são inicializados como sendo iguais a zero, e quando algo acontece durante a simulação, os acumuladores são atualizados conforme o seu propósito. Existem acumuladores com propósitos distintos, e pode-se citar alguns, tais como: o de monitorar o comprimento das filas, a taxa de ocupação dos recursos e o número de peças produzidas.

Um evento é algo que acontece em um instante da simulação, que ocasiona uma mudança nos atributos, nas variáveis ou nos acumuladores.

Para executar a simulação é necessário que haja um controle dos eventos futuros. Com isso existe um calendário de eventos onde estão armazenados os eventos futuros. Quando o

tempo do evento é alcançado pelo relógio da simulação, o evento é removido do calendário e a informação contida é utilizada de maneira lógica e apropriada.

O valor atual do tempo da simulação é guardado numa variável chamada de relógio da simulação. Os principais mecanismos de avanço são: o avanço do tempo para o próximo evento e o avanço do tempo com incremento fixo [Freitas Filho, 1997].

No mecanismo de avanço para o próximo evento, o relógio da simulação é inicializado como sendo igual a zero, e os tempos de ocorrência dos próximos eventos determinam o avanço do tempo, que torna-se igual ao tempo de ocorrência do evento mais iminente entre futuros eventos, retirando-o do calendário. O processo segue sucessivamente até que uma condição de parada seja satisfeita. Este método é amplamente utilizado tanto por programas comerciais de simulação quanto por aqueles montados sobre uma linguagem de programação de propósito geral, tais como Pascal e C++.

A questão de como inicializar e de como parar a simulação é bastante importante, porém algumas vezes é desprezada. É necessário determinar condições apropriadas para inicializar a simulação, quanto tempo ela irá durar, e se ela deverá parar em um tempo determinado ou mediante algum conhecimento. Tais decisões podem ocasionar grande efeito nos resultados e nas estatísticas que estão sendo acumuladas em paralelo [Kelton et al., 1998].

2.3.3 - Passos em um Estudo de Simulação

Para se obter sucesso no estudo da simulação é necessário ter um bom conhecimento da metodologia que envolve esse estudo, boas noções de estatística e probabilidade, e obedecer alguns passos básicos [Pedgen et al., 1995; Banks e Gibson, 1996; Freitas Filho, 1997; Kelton et al., 1998]. Esses passos são descritos a seguir:

a) **Formulação do Problema:** é o início de todo o estudo da simulação, onde são definidos os propósitos e os objetivos da simulação, de modo a entender por completo o porquê do estudo e quais os parâmetros de resposta que se pretende obter. É necessário então, um perfeito entendimento do que se está modelando.

b) **Planejamento do Projeto:** neste passo pretende-se ter certeza da suficiência dos recursos envolvidos em nível de pessoal, de gerência, de hardware e de software. Faz-se também uma descrição dos vários cenários a serem investigados, bem como um cronograma das atividades que serão desenvolvidas.

c) **Definição do Sistema:** faz-se um delineamento do sistema a ser estudado, investigando como o sistema trabalha e definindo claramente seus limites e suas restrições, de modo a evitar esforço de reprogramação em passos subsequentes.

d) **Formulação do Modelo Conceitual:** é a representação gráfica ou algorítmica do sistema, definindo componentes, atributos, variáveis, acumuladores e interações lógicas. O modelo deve iniciar de forma simples e ir ganhando complexidade aos poucos, facilitando a depuração e garantindo a correção do mesmo.

e) **Projeto Experimental Preliminar:** neste passo é feita uma análise prévia das medidas de desempenho, dos fatores e de seus diversos níveis, ou seja, que respostas são esperadas do modelo, sob que forma e em que extensão.

f) **Preparação dos Dados de Entrada:** neste passo é feita a identificação e coleta de dados necessários à entrada do modelo. Em geral são coletados um conjunto de dados que devem sofrer um tratamento que indique qual a distribuição aleatória que melhor os representa, considerando os testes de aderência que imprimem um certo grau de confiabilidade à escolha da respectiva distribuição [Law e McComas, 1990].

g) **Tradução do Modelo:** consiste em codificar o modelo em um software de simulação previamente escolhido e dominado pelo profissional executor, utilizando-o corretamente e procurando obter o máximo dos recursos disponibilizados pelo software, em uma estrutura bem organizada e otimizada de modo a ganhar em desempenho face aos recursos computacionais. Geralmente, este passo corresponde de 30 a 40% do esforço dedicado ao estudo de simulação como um todo [Law e McComas, 1990].

h) **Verificação e Validação:** este passo consiste na confirmação que o modelo opera conforme planejado, sem erros de sintaxe e lógica. Se o sistema real existe é possível fazer experimentos iniciais, que constituem em oferecer ao modelo as mesmas condições de entrada do sistema real e comparar os resultados obtidos com os observados pelo sistema real. O modelo deverá apresentar resultados próximos dos reais para que seja validado.

i) **Projeto Experimental Final:** consiste em projetar um conjunto de experimentos que produza a informação desejada, mediante uma entrada específica que conduza a uma saída determinada. É muito utilizado se o sistema real não existe, e assim não é possível validá-lo mediante comparação com o sistema real [Law e McComas, 1990].

j) **Experimentação:** neste passo são executados vários experimentos em diversas simulações para geração de resultados desejados e para realização das análises de sensibilidade.

k) **Análise e Interpretação dos Resultados:** se o desempenho de um sistema é medido por um certo parâmetro, o resultado de um conjunto de experimentos, obtido da simulação de um

modelo deste sistema, servirá para determinar uma estimativa deste parâmetro. A precisão do estimador pode ser medida pela sua variância. Assim, um dos objetivos da análise estatística dos resultados da simulação é estimar esta variância e/ou determinar o número de observações necessárias para se alcançar a precisão desejada para o estimador. A determinação de intervalos de confiança para as variáveis de interesse que medem o desempenho do sistema é um componente fundamental no processo de análise de resultados [Freitas Filho, 1997].

l) **Documentação:** serve como um guia necessário para que os usuários possam fazer uso do modelo e dos resultados anteriormente produzidos. Funciona também como um guia que facilita futuras modificações no modelo. Os resultados de análises fazem parte da documentação do sistema e devem ser registrados de forma clara, concisa e precisa.

m) **Implementação:** este passo está presente em cada passo anteriormente descrito.

2.4 - CONTABILIDADE DE CUSTOS

Uma *entidade*, como um termo de contabilidade, é um ser qualquer, seja pessoa física ou jurídica, seja uma empresa, uma indústria, ou um clube. Todas as entidades precisam de uma Contabilidade de Custo. Todas planejam objetivos e meios para atingi-los. Entre seus objetivos inclui-se o de continuar existindo, crescer e evoluir. Assim sendo, sempre existem gastos, despesas e custos no sentido de obter receitas. As receitas oriundas de um determinado trabalho, devem ser maiores do que os gastos, despesas e custos, que foram realizados naquele trabalho. Esta diferença positiva caracteriza o lucro ou, em entidades sem fins lucrativos o superávit. Quando ela tem por finalidade remunerar as pessoas que nela investiram suas economias, são denominadas de entidades com fins lucrativos, que de um modo geral são denominadas de empresas [Leone, 1997].

A Contabilidade de Custos é o ramo da Contabilidade que se destina a produzir informações para os diversos níveis gerenciais de uma entidade, como auxílio às funções de determinação de desempenho, de planejamento e controle das operações, e de tomada de decisões, pela coleta, classificação e registro dos dados operacionais das diversas atividades da entidade, denominados de dados internos.

Os dados coletados podem ser tanto monetários como físicos. Como exemplo de dados físicos tem-se o número de unidades produzidas, as horas trabalhadas, a quantidade de requisições de materiais e de ordens de produção, entre outros. A combinação entre dados físicos e monetários resulta em indicadores gerenciais de grande poder informativo.

Pode-se classificar as necessidades gerenciais em três grandes grupos. O primeiro é constituído de informações que servem para a determinação da rentabilidade e do desempenho das diversas atividades da empresa. O segundo grande grupo, pelas informações que auxiliam a gerência a planejar, a controlar e administrar o desenvolvimento das operações. Por fim, o terceiro grande grupo é caracterizado pelas informações para a tomada de decisões [Leone, 1997].

Os objetos da Contabilidade de Custos mais conhecidos são: a entidade como um todo; seus componentes organizacionais, tanto os administrativos quanto os operacionais; os produtos e bens que fabrica para si própria e para venda; e os serviços que realiza, faturáveis ou não. Também constituem-se objetos os estoques, as campanhas, as promoções, os estudos e as atividades especiais, os segmentos de distribuição, as atividades e as operações, os planos e alternativas operacionais.

A maneira pela qual estes objetos são monitorados constituem-se nos sistemas de custeio. Existem muitos sistemas de acumulação de custos; entretanto, os que se destacam, por serem mais empregados, são os seguintes: **a)** por ordem de produção; **b)** pela responsabilidade; **c)** previsionais para custo-padrão; e **d)** previsionais para custos estimados.

a) O sistema de acumulação de custos por ordem de produção é normalmente utilizado quando a entidade produz e vende os produtos por encomenda. Uma vez que os produtos são específicos e perfeitamente identificados, a preocupação do sistema é acumular os custos do produto. Os recursos consumidos pela produção são valorizados e debitados a cada um dos produtos que os consumiu. Os recursos consumidos são basicamente de três tipos: materiais, mão-de-obra e outras despesas de fabricação.

b) O sistema de acumulação de custos por responsabilidade, ou por centro de custos, ou RKW (abreviação de *Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit*), ou pelas seções homogêneas, é provavelmente o mais usado no Brasil e no mundo, e sua sistemática representa perfeitamente os procedimentos da contabilidade de custos tradicional [Bornia, 1997]. É utilizado quando a entidade fabrica os produtos de modo contínuo, em série ou em massa, onde há preocupação em determinar e controlar os custos pelos departamentos, pelos setores e pelas fases produtivas, e em seguida dividir estes custos pela quantidade de produtos fabricados no processo, durante um certo período. Aqui reside a maior diferença entre os dois sistemas citados, enquanto o primeiro custeia o produto, o segundo custeia o processo fabril num determinado período. Assim, admite-se que sempre haverá um responsável pela administração dos objetos de custeio, formando um centro de responsabilidade. Estes centros são determinados por fatores de organização, localização, responsabilidade e homogeneidade. De acordo com a função que desempenham, os

centros de custos podem ser classificados em produtivos, auxiliares, de venda e comuns. O critério deixa a desejar na localização das perdas para o processo de melhoria.

c) Ainda pode ser citado o sistema de absorção de custos previsionais tanto para os custos-padrão quanto para os custos estimativos. Apresentam duas finalidades principais: uma, quanto ao planejamento das operações, e outra, quanto ao controle dessas operações. Entretanto, estas operações devem apresentar características que permitam a adoção de custos padronizados.

Faz-se inicialmente a previsão das operações para um determinado período, incluindo os custos e as despesas, e à medida que as operações vão realmente acontecendo, pode-se identificar e analisar os desvios ocorridos. Mediante análise é possível tomar decisões corretivas de rumo.

d) Caso haja um produto diferente dos demais produtos já fabricados e com operações fabris exclusivas para tal produto, não é possível padronizar estas atividades de fabricação, e neste caso é possível utilizar uma estimativa para o custo.

Os sistemas de acumulação de custos precisam trabalhar com um critério de custeio. Os sistemas largamente utilizados são: **o critério de custo por absorção; o critério de custo direto (ou variável); e o critério de custo ABC (*Activit Based Costing* ou Custeamento Baseado em Atividades)**. Estes critérios têm um ponto em comum, pois se preocupam com a administração dos custos indiretos, entretanto apresentam fundamentos diferentes [Marques, 1998].

- Em linhas gerais, pode-se dizer que o critério de Custo por Absorção inclui todos os custos indiretos de fabricação, durante um certo período, nos custos de suas diferentes atividades industriais, sejam produtos, processos ou serviços. Para tanto, o critério precisa recorrer a uma série de rateios por causa dos custos comuns. A finalidade principal do critério é ter o custo total (direto e indireto) de cada objeto de custeio. Este custo total se destina à determinação da rentabilidade de cada atividade, à avaliação dos elementos que compõem o patrimônio, e à composição de informação significativa no auxílio à decisão de estabelecer os preços de venda dos produtos.

- O Critério de Custo Direto (ou Variável) é aquele que só inclui os custos diretos no custo dos produtos, não havendo necessidade de rateio, e os custos variáveis são baseados na variabilidade de um indicador que represente os produtos. As instalações fabris podem ser utilizados de acordo com um indicador natural tipo hora-máquina, que efetivamente diferenciam os produtos. Assim sendo, o critério estabelece que deva existir uma relação expressiva entre o consumo de hora-máquina, os custos de manutenção das máquinas e outros associados ao recurso, de modo que estes custos possam ser incluídos no custo de cada produto que efetivamente o utilizou. A finalidade principal do critério é a determinação da contribuição

marginal total ou unitária de cada objeto de custeio. Esta informação não é influenciada pelo trabalho de rateio, o que às vezes é enganador.

- O Critério de Custo ABC trata de administrar os custos indiretos de fabricação, num primeiro momento [Cogan, 1997]. As idéias do ABC já existem desde a década de 60 e foram inicialmente aplicadas, experimentalmente, na *General Eletric*. É uma forma sofisticada de apropriar os custos indiretos. A idéia básica é decompor as operações industriais, subdividindo-as em atividades que consomem os recursos disponíveis. A idéia de que os critérios e métodos atuais de cálculo de custos precisam ser reformulados diante das alterações tecnológicas crescentes na produção e administração de empresas É a base de pesquisas dos professores Robert Kaplan, da *Harvard University* [Kaplan, 1988] e Robin Cooper da *Claremont University* [Cooper e Kaplan, 1988; 1991], que muitas vezes trabalham em conjunto na implementação deste critério. Segundo eles, os produtos consomem estas atividades, que representam com maior exatidão os custos indiretos. A técnica baseia-se em indutores de custos (*cost drivers*).

A elaboração do ABC pode ser decomposta em quatro fases: análise das atividades; pesquisa dos indutores de custos; determinação dos centros de reagrupamento; e cálculo do custo unitário dos indutores e produto final [Mevellec, 1994].

Esta forma de modelar a empresa enfoca as atividades realizadas, e não mais é baseada somente nos centros de responsabilidades. Esta transição repousa na constatação de que não são os produtos que consomem os recursos da empresa e sim as atividades, que por sua vez são consumidas por estes produtos, não mais sobre uma base única, mas sobre uma base tríplice: uma base fixa, ligada à própria existência do produto; uma base proporcional aos lotes trabalhados; e uma base ligada ao volume produzido.

O módulo de sistemas de custos proposto no item 1.5 deverá ser elaborado, baseado em um rigoroso estudo do critério ABC, onde as atividades que devem ser observadas são: Produção, Manutenção, Ajustagem (*Setup*), Transporte; alocação de espaço para permanecerem em Fila; e Ociosidade ("não produção"), devendo ser focadas sobre cada recurso. No item 4.3 é apresentado um esboço de um procedimento simplificado utilizado no estudo de caso. Tais indutores deverão ser compostos por um somatório de hora-máquina e de hora de mão-de-obra associada.

Assim, a atividade Produção em cada recurso indicará um custo peculiar a cada máquina, que será absorvido quando a peça necessitar executar esta atividade. Analogamente, pode-se raciocinar com a atividade Transporte, onde a máquina dá lugar ao dispositivo que efetivamente realizará o transporte, fazendo com que a peça absorva custo quando necessitar desta atividade. A atividade em Fila segue raciocínio análogo.

As atividades de Setup, Manutenção e Ociosidade são absorvidas pelo lote e não por uma peça unitária, pois muda-se a base, que passa a ser função do volume produzido, exceto para o caso particular do lote unitário.

A qualidade de elaboração do módulo de Sistemas de Custos terá um impacto bastante acentuado na qualidade dos resultados obtidos pelo simulador, destinados à tomada de decisões. A integração deste módulo com o restante do sistema permitirá a obtenção de informações em tempo real, e capacitará a elaboração de relatórios de situação diários, o que permitirá que ajustes finos sejam feitos nas metas estabelecidas pela visão estratégica, obtida de cenários previamente simulados. A possibilidade de comparações a curto, médio e longo prazos, de modo a descobrir os desvios do quadro real com o virtual, permitirá a criação de memória que servirá como embasamento para futuras projeções. A literatura [Cooper e Kaplan, 1998] frisa bastante a importância da tomada de decisão baseado em informações atualizadas interferindo positivamente na eficácia da decisão.

CAPÍTULO 3

SISTEMA INTEGRADOR DA MANUFATURA, ESTATÍSTICA E SIMULAÇÃO

Neste capítulo estão descritos os módulos computacionais desenvolvidos neste trabalho, a saber: Módulo Pro-SIMES – Interface de Comunicação com o Usuário; Módulo de Simulação da Produção; Módulo de Análise de Distribuições Estatísticas; e Módulo de Análise de Resultados da Simulação. Todos eles estão integrados entre si.

O módulo que é denominado de "Pro-SIMES" – Interface de Comunicação com o Usuário, tem como função básica direcionar o usuário ao longo dos passos necessários à correta utilização do sistema como um todo, bem como permitir o acesso à base de dados representativa dos recursos de chão-de-fábrica, além de permitir com que a entrada de dados seja consumada.

O segundo módulo, chamado de Análise de Distribuições Estatísticas (ADE), contribui fundamentalmente para a determinação de uma distribuição estatística adequada, baseada em dados criteriosamente coletados no chão-de-fábrica e em teste de aderência.

O terceiro módulo é o de Simulação da Produção (SiP), responsável pelo gerenciamento das mudanças de estado no decorrer do tempo e pelas replicações necessárias ao tratamento estatístico dos resultados conforme a acurácia e o nível de confiança estabelecidos.

O quarto módulo é o de Análise dos Resultados da Simulação (ARS), que funciona como interface de saída dos resultados obtidos, determinando os intervalos de confiança em torno da média das variáveis de controle, segundo a acurácia e o nível de confiança estabelecidos no módulo anterior. O resultado é representado sob a forma de gráficos percentuais de utilização dos recursos, dos tempos e dos custos.

3.1 - MÓDULO PRO-SIMES

O módulo Pro-SIMES é a interface de comunicação com o usuário que possibilita a entrada de dados, tendo sido desenvolvido utilizando-se amplamente os recursos oferecidos pelo Delphi3. Face à grande quantidade de dados que devem ser fornecidos, buscou-se tornar este módulo o mais amigável possível, utilizando uma estrutura organizacional que proporcione: (a) unicidade, por meio de uma estrutura visual que mantenha os diversos elementos juntos, conferindo harmonia rumo a uma comunicação comum; (b) integridade, por meio de uma

estrutura coerente e forte, a fim de manter o foco nos objetivos da comunicação; (c) legibilidade, por meio de uma estrutura que divida todo o conteúdo em subconjuntos controláveis; (d) controle, por meio de uma estrutura que direcione e auxilie o usuário nos diversos passos do programa [Parizotto, 1997].

Utilizou-se o recurso de *frames*, que é largamente usado no projeto visual de páginas na Web, que consiste em dividir a tela em painéis, sendo que no Pro-SIMES a tela foi dividida em dois painéis. O painel da esquerda é invariante e contém diversos vocábulos sublinhados, denominados *links*, que alteram o cursor do *mouse*, quando este se posiciona sobre os mesmos. Assim, o cursor passa de seta para a estilização de uma mão, forma conhecida como *handpoint*. Este painel funciona como controle, e mediante um clique nesses *links*, o painel da direita, denominado painel variante, adquire uma configuração diferente conforme o *link* pressionado. A tela principal do módulo Pro-SIMES é ilustrada na figura 3.1.

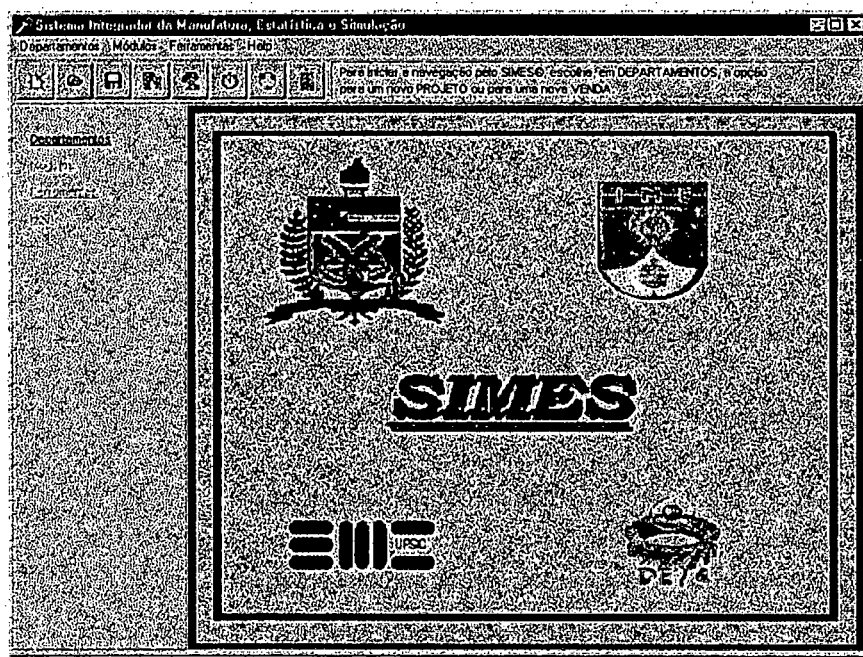


Figura 3.1 – Tela introdutória do Pro-SIMES

A primeira palavra-chave do painel invariante é denominada “Departamentos”. Isto significa dizer, que o sistema pode ser utilizado basicamente por dois setores da empresa, a saber: o setor de projetos e o setor de vendas. Assim sendo, existem dois enfoques distintos e cada um é analisado sob a ótica de cada departamento, com propósitos específicos. Mediante atuação neste *link* as duas opções ficam disponibilizadas, permitindo a escolha.

Nos itens seguintes estes enfoques serão descritos em maiores detalhes.

3.1.1 - Pro-SIMES – Enfoque de Projeto

O setor de projetos é responsável pela determinação dos atributos tecnológicos dos produtos fabricados. Assim sendo, na fase de projeto de um produto estima-se que somente cerca de 8% do orçamento total do produto foi gasto, entretanto neste ponto fica determinado cerca de 80% do custo de vida do produto [Ferreira, 1996]. Assim, a redução de custos deve iniciar com o projeto do produto, pois este é o que mais severamente influencia no custo final. No Japão é comum na política da maioria das empresas, que os engenheiros de projeto trabalhem na manufatura visando um melhor entendimento das questões de manufaturabilidade, antes de assumirem atribuições de projeto [Ferreira, 1996].

A busca de um projeto integrado de produto e processos de manufatura é a base que caracteriza a Engenharia Simultânea, onde a manufaturabilidade é considerada desde o começo do projeto do produto. Assim surge a necessidade de elaborar ferramentas que auxiliem o projetista nesta função.

De encontro a esta necessidade, o módulo “Pro-SIMES – Enfoque de Projeto” proporciona ao projetista uma visão macro da fabricação do produto, ainda na fase de projeto, integrando os diversos processos de fabricação envolvidos, através da simulação da produção de um determinado lote, considerando distribuições estatísticas para a representação da aleatoriedade do sistema de manufatura real. O objetivo deste módulo é permitir que ainda na fase de projeto, possam ser analisados os reflexos de pequenas variações do produto em estudo, de modo a garantir a obtenção do mesmo, através de um sistema de fabricação robusto, imprimindo assim um nível de competitividade aceitável desde a concepção.

O projetista se baseia em duas variáveis de controle: a primeira refere-se ao tempo total de fabricação do lote, enquanto que a segunda corresponde ao custo total de fabricação do lote.

Os dados de entrada para este módulo consistem em: dados de identificação do produto, da empresa e do projetista; informações sobre o tamanho de lote a ser simulado; distribuições dos tempos da primeira chegada e entre chegadas, como mostra a figura 3.2. Após fornecer esses dados, o projetista passa para a fase de habilitação dos recursos envolvidos na fabricação do lote. Futuramente com o desenvolvimento do sistema como um todo, esta fase será executada pelo módulo de Projeto e Classificação de Peças em Famílias, que irá associar a nova peça a uma família existente.

Departamento: Módulo: Ferramenta: Help

Obtendo em DATA: o campo é atualizado com a data atual do sistema.

Novo Projeto

Título: **NOVO PROJETO**

Empresa / Centro: **Empresa Alfa / Ibe Uno**

Analista Responsável: **Fussion, Andrei** Data: **12/22/98**

Identificação

Código da Peça: **A - U - 1010**

Quantidade da Lote: **100**

Tempo para Primeira Chegada: **NORM(1,0)**

Tempo entre Chegadas: **NORM(1,0)**

Figura 3.2 – Tela representativa de novo projeto

O link “Máquinas” caracteriza a fase de habilitação, representado na figura 3.3. Neste ponto todos os recursos de chão-de-fábrica são passíveis de serem acessados e selecionados para uma área destinada à posterior associação dos roteamentos, que será aqui denominada de *buffer* de processo, estando localizada na parte inferior do painel variante.

Sistema Integrador de Manufatura, Estatística e Simulação

Departamento: Módulo: Ferramenta: Help

As máquinas selecionadas para processar pertencem ao rio 12/22/98 para serem usadas no processo de roteamento.

Recursos do Chão-de-Fábrica

Código	Categoria	Identificação	CustoProc	CustoManuf	CustoOS
FRE-120	FRESADORA		\$2.00	\$1.00	\$1.00
FRE-230	FRESADORA		\$1.50	\$2.00	\$1.00
FRE-311	FRESADORA		\$1.00	\$2.00	\$1.00
FRE-340	FRESADORA		\$1.00	\$2.00	\$1.00
FRE-412	FRESADORA		\$1.50	\$2.00	\$1.00

Buffers de Processos

Processo: Torneamento: Furadeira: Retificação: Polimento:

Figura 3.3 – Tela representativa da opção Máquinas

As máquinas do chão-de-fábrica compõem uma base de dados estruturada na linguagem *Paradox 7®*, onde diversos atributos e informações de cada recurso podem ser acessados, sendo

em alguns casos passíveis de alteração. Os campos existentes são: código, categoria, identificação, custo de processamento, custo de manutenção, custo de ociosidade e imagem. Dentre estes, somente os custos podem ser atualizados pelo usuário. Existe um *link* denominado “Selecionar Máquina para Processo”, no painel variante, que ao ser acionado inclui a máquina em foco no respectivo *buffer* de processo associado. Assim, ao selecionar a máquina, o *link* é desabilitado. Este procedimento segue sucessivamente até que todas as máquinas necessárias à fabricação da peça tenham sido selecionadas, premissa básica para a elaboração dos roteamentos. A figura 3.4 ilustra a fase de habilitação das máquinas e preenchimento dos *buffers*.

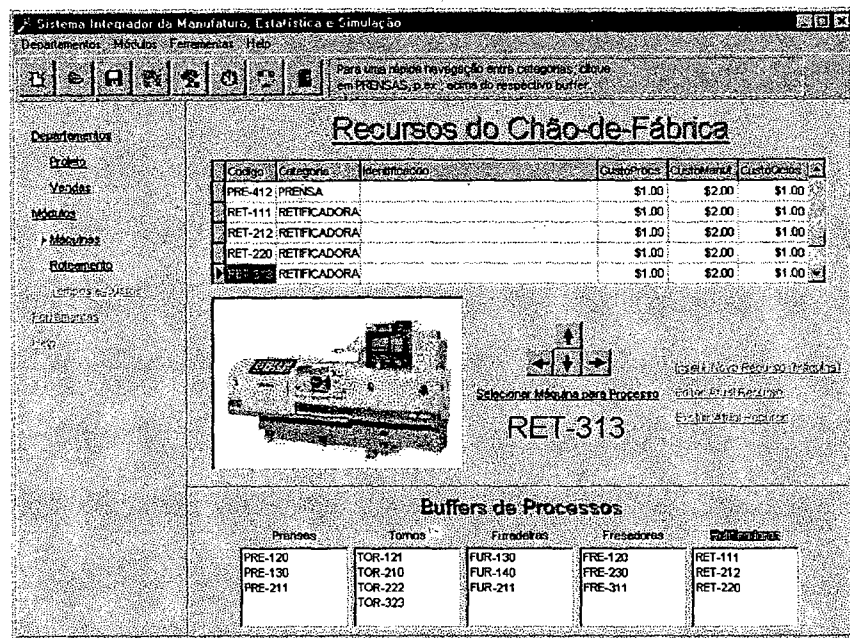


Figura 3.4 – Tela representativa dos *buffers* preenchidos

De modo a facilitar a navegação, ou seja, a consulta e seleção aos itens constante no banco de dados, é possível utilizar as teclas de seta do teclado para a alteração da máquina em foco. Os *links* referentes a cada categoria, posicionados acima dos *buffers*, oferecem um posicionamento rápido junto à primeira máquina da categoria selecionada no banco de dados.

Terminada a fase de habilitação das máquinas, passa-se à fase de elaboração do roteamento, mediante atuação do *link* “Roteamento” localizado no painel de controle. Uma nova janela surge no painel variante contendo lacunas posicionadas tal como uma matriz 5x5, como ilustra a figura 3.5. A primeira coluna está pronta para receber as máquinas principais, enquanto que as demais colunas recebem as alternativas, que serão acionadas em caso de quebra do recurso prioritário. Estas máquinas alternativas são opções para eventuais quebras das principais, entretanto são parte do processo de fabricação de outra família de peças.

Sistema Integrador da Manufatura, Estatística e Simulação

Departamentos: Módulos: Ferramentas: Help

Use o método Drag and Drop (arrastar e soltar) para definir o roteamento

Roteamento

• Número de Equipes de Setup: 1

• Prioridade de Setup: 1 2 3 4 5

Job 1 - prioridade: 1 Job 2 - prioridade: 2 Job 3 - prioridade: 3
Job 4 - prioridade: 4 Job 5 - prioridade: 5

	Principal	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
J 1	PRE-120	PRE-130			
O 2	TOR-210	ICR-222			
B 3	FLR-211				
4	RET-220	RET-212			
S 5	PRE-311	PRE-230			

Buffers de Processos

Pressas	Tornos	Fureadeiras	Fresadoras	Retificadoras
PRE-211	TOR-121	FLR-130	PRE-120	RET-111
	ICR-222	FLR-140		

Figura 3.5 – Tela representativa da opção Roteamento

Para o software, não existe obrigatoriedade no posicionamento de qualquer tipo de processo, ou seja, qualquer máquina das cinco categorias pode assumir a posição de máquina principal do primeiro processo a ser executado, na posição 1-1 da matriz, cabendo a escolha ao analista, que deve se orientar no planejamento do processo da peça em análise. As demais categorias de máquinas podem assumir os processos seguintes independente da ordem. Entretanto, uma vez posicionada a primeira máquina de um determinado tipo de processo, as posições relativas às máquinas alternativas somente poderão receber máquinas do mesmo tipo da primeira lacuna desta linha. Essa restrição é denominada de “condição de similaridade”, e constitui um tratamento de erros que limita os posicionamentos.

Futuramente, com o desenvolvimento do módulo de Planejamento do Processo, esta fase será executada automaticamente, dispensando a interferência do analista, que no atual estágio deve consultar o plano do processo, onde constam qual máquinas devem ser alocadas, os respectivos tempos de *setup*, e de fabricação.

A inclusão no software do roteamento é feito manualmente com o auxílio do *mouse*, valendo do recurso *drag-and-drop*, ou seja, seleciona-se uma máquina em um dos *buffers*, pelo clique do botão esquerdo, mantendo-o pressionado, arrastando o cursor até o local desejado e soltando o mesmo. Desta forma, a máquina é transportada à lacuna selecionada na matriz. Caso a condição de similaridade seja violada, o processo não surte efeito, ou seja, a máquina permanece no respectivo *buffer*.

Os demais campos a serem preenchidos representam o número de equipes de *setup* e as prioridades de *setup* entre as máquinas principais dos cinco processos em questão.

O software permite credenciar de 1 a 5 equipes de *setup*, para fim de análise. Mediante o estabelecimento da ordem de prioridade de máquinas a serem ajustadas, e para o caso do número de equipes ser menor que cinco, haverá alguma máquina que, em função da prioridade, permanecerá aguardando ajustagem até que uma das equipes fique disponível. Tais equipes podem ser constituídas pelos próprios operadores das máquinas.

Terminada esta fase, com os campos devidamente preenchidos, passa-se à fase de atribuição de tempos e custos aos recursos habilitados. Isto se faz pelo *link* “Tempos e Custos” no painel de controle. Uma nova tela é exposta no painel variante, representando na parte superior o leiaute do chão-de-fábrica onde os recursos habilitados encontram-se representados por meio de botões com índice matricial de dois dígitos em negrito, figura 3.6. O primeiro dígito representa a prioridade entre os tipos de processos, enquanto o segundo dígito refere-se à prioridade de utilização da máquina dentro de um processo específico, caracterizado pelo dígito anterior.

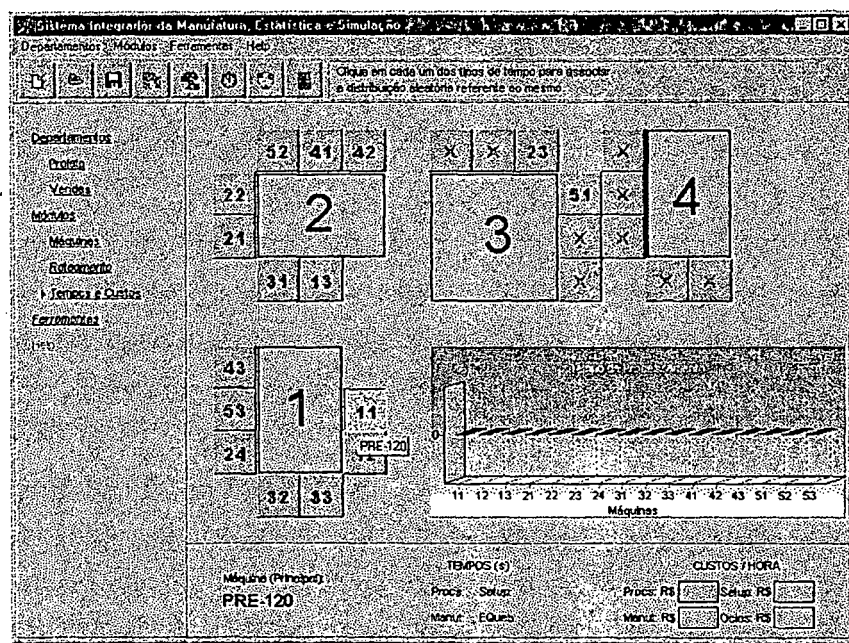


Figura 3.6 – Tela representativa da opção Tempos e Custos

Atuando nestes botões é possível executar uma varredura pelos recursos habilitados. Assim, na parte inferior do painel variante encontram-se as últimas lacunas a serem preenchidas, que correspondem aos atributos da peça em relação ao recurso em foco. Estes campos são representativos dos seguintes tempos: de processamento, de *setup*, de manutenção e entre quebras. Existe também um campo referente ao custo de *setup*. Os tempos podem ser

representados por distribuições estatísticas. Ao atuar sobre um *link* representativo de um destes tempos, uma nova janela é exposta no centro da tela oferecendo quatro opções de distribuição, a saber: normal, exponencial, triangular e weibull¹, como mostra a figura 3.7. Mediante a seleção de uma destas, surgem os campos representativos da mesma, que devem ser preenchidos. Feito isto, atuando sobre o botão “OK” a distribuição fica registrada na lacuna associada.

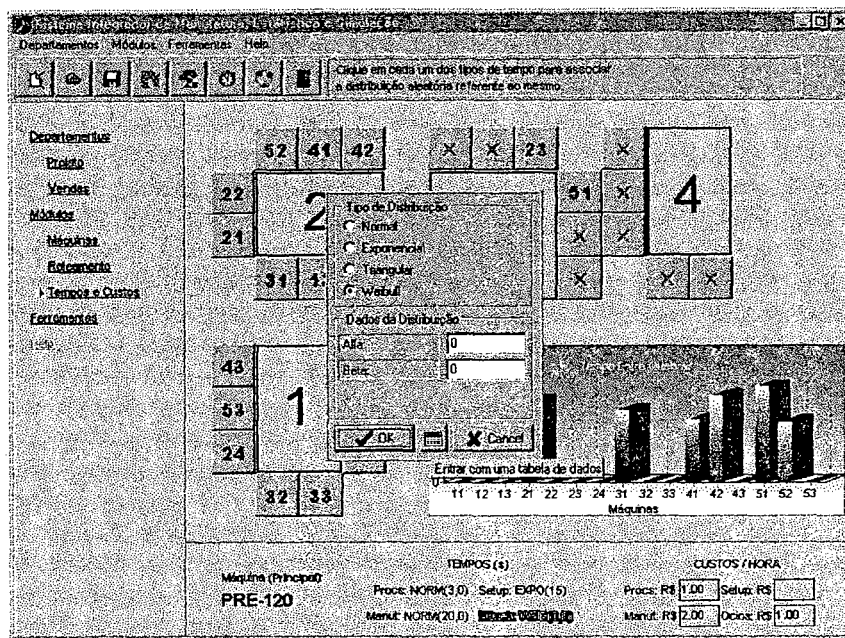


Figura 3.7 – Tela de escolha da distribuição aleatória

Existe ainda uma última opção que consiste da entrada de dados coletados, determinando a melhor distribuição estatística representativa. Isto se faz no módulo de Análise de Distribuições Estatísticas (ADE), e será pormenorizado ainda neste capítulo. Para acessar este módulo, basta acionar o botão intermediário da janela de distribuições, posicionado entre os botões de “OK” e “Cancel”.

Resta ainda um último campo a ser preenchido, que corresponde ao custo de *setup*. O custo de *setup* é considerado um atributo da peça, pois nele encontra-se embutido o custo de ferramentas, a depreciação dos porta-ferramentas e dos dispositivos de fixação, que são peculiares à peça que compõe o lote em questão. Os demais custos são obtidos automaticamente do banco de dados, sendo que se for necessário efetuar algum ajuste nos mesmos, este poderá ser feito na presente tela. A obtenção destes custos, para a empresa alvo do estudo de caso, está pormenorizada no capítulo 4. Futuramente, com a continuidade do desenvolvimento do sistema, o rateio será executado segundo imposição dos indutores de custo que estarão contidos no

¹ Essas distribuições serão descritas ainda nesse capítulo.

módulo de Sistemas de Custos, onde cada atividade que venha a ser utilizada contribua na formação do custo total.

Com os dados devidamente preenchidos, atua-se no *link* “Ferramentas” no painel de controle, e depois novamente no *link* “Simular”. Neste instante, surge uma nova tela indagando se o usuário deseja salvar os dados, como ilustrado na figura 3.8. Caso positivo, uma tela padrão de salvar arquivos é aberta e o usuário tem possibilidade de escolher o nome do arquivo, bem como o diretório desejado. Caso negativo, esta tela não será aberta, e para ambos os casos o módulo Simulador da Produção (SiP) é executado.

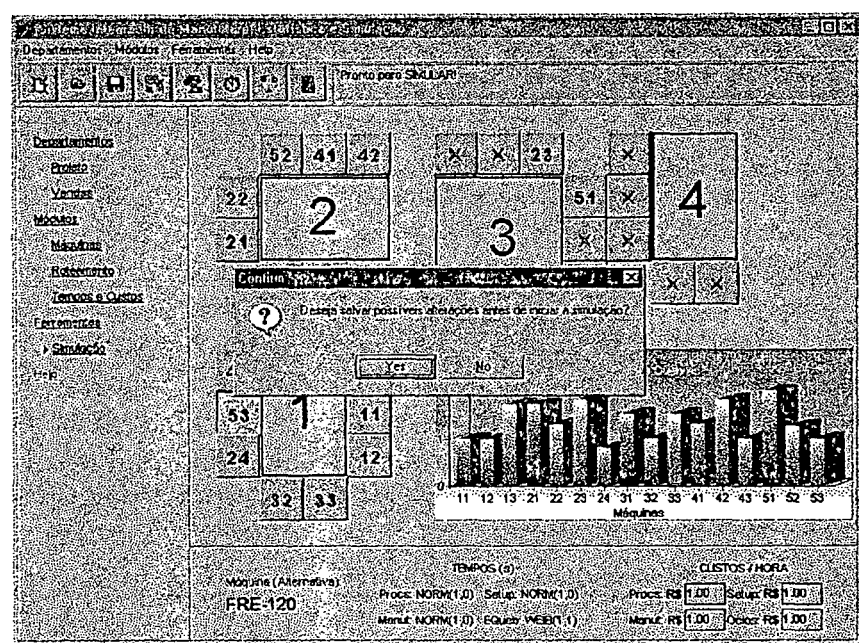


Figura 3.8 – Tela de chamada do Simulador

3.1.2 - Pro-SIMES – Enfoque de Vendas

O setor de vendas de uma empresa exerce um papel importante, pois este tem a incumbência de interagir com o cliente externo.

Uma empresa honesta só pode sobreviver dentro de uma sociedade se ela contribuir para a satisfação das necessidades das pessoas. Sob este aspecto, a primeira prioridade da empresa são os consumidores [Campos, 1992]. Com isso, é vital que estes se sintam satisfeitos em tudo que se refere à mesma.

Para alcançar esta meta a empresa deve oferecer produtos oriundos de sistemas de fabricação robustos, e conquistar a confiança do cliente. Presume-se que uma elevada robustez proporcionará aos produtos um alto nível de competitividade desde a concepção. Porém, resta

conquistar a confiança do cliente fazendo com que este enxergue na empresa um verdadeiro parceiro em busca da prosperidade comum.

Para isso, o setor de vendas ao ser abordado por um cliente interessado em um determinado lote de peças, deverá informar prontamente e com exatidão a data da entrega. No caso de novas peças, onde não existe preço previamente estabelecido, o setor de vendas deve também fornecer uma estimativa do preço do lote. Esta tarefa é complicada sem o auxílio de ferramentas auxiliares, e tal situação é bastante agravada quando existe uma multiplicidade de lotes diversos agendados e propriedades distintas entre os mesmos. Surge então, uma concorrência interna na utilização dos recursos do chão-de-fábrica, e consequentemente uma maior demanda sobre o planejamento e controle da produção. Um problema complicado que resulta desta situação é o agendamento da produção.

O módulo “Pro-SIMES – Enfoque de Vendas” tem como meta, vir a ser uma ferramenta de auxílio utilizada pelo departamento de vendas para prestar informações aos clientes. Tem como objetivo básico aumentar a confiabilidade das informações prestadas e com isso angariar cada vez mais respeito. Assim, a data de entrega do produto sob análise é informada ao cliente, baseado-se em confiança estatística.

No atual estágio de desenvolvimento este módulo apresenta algumas limitações. Entretanto, ele pode ser utilizado adequadamente para dois casos específicos: o primeiro caso é para a situação em que os recursos da empresa estiverem ociosos, ou seja, não possuem demanda por outros produtos, o que é muito pouco provável; e o segundo caso, mais realístico, e se verifica quando a empresa admite o atendimento preferencial a um determinado cliente, atribuindo a primeira prioridade ao lote em análise, sendo este processado na frente de toda a produção agendada naquele momento.

O aperfeiçoamento deste módulo depende da elaboração dos módulos de Agendamento da Produção e Acompanhamento da Produção em Processo, que permitiria a obtenção de informações sobre o estado das máquinas envolvidas conforme produção agendada, no instante definido como início da análise. Com isso, o módulo “Pro-SIMES – Enfoque de Vendas” será capaz de atribuir uma determinada prioridade ao lote e disparar a simulação da produção do mesmo. Além do resultado obtido especificamente para o lote em questão, o analista será também informado se houve violação do prazo de entrega dos demais lotes previamente agendados, por interferência da possível inclusão em análise com a prioridade estabelecida. Isto se faz necessário porque aqueles já possuem data de entrega comprometida com outros clientes. O módulo de Agendamento da Produção e Acompanhamento da Produção em Processo é

extremamente importante e seguramente encontrará espaço para ser desenvolvido em trabalhos futuros.

Além da função descrita acima, os dois módulos futuros supracitados também buscam a melhor utilização dos recursos do chão-de-fábrica. O departamento de produção será o principal beneficiado com o futuro desenvolvimento, podendo atribuir prioridades distintas e utilizar os recursos de simulação e estatística para otimizar a produção.

Para acessar o módulo “Pro-SIMES – Enfoque de Vendas”, o analista deve atuar no *link* “Departamentos” e depois atuar sobre o *link* “Venda”. Com isso, surgirá uma tela padrão tipo *opendialog*, onde pode-se percorrer os diversos diretórios, abrindo um determinado arquivo e carregando o tipo da peça desejado. A partir daí, basta alterar o tamanho do lote conforme as necessidades do cliente, e os dados referentes ao mesmo. Após uma nova atuação no *link* “Ferramentas” e posteriormente sobre o *link* “Simulação”, tem-se então uma nova tela, que verifica se o usuário tem interesse em salvar a consulta atual. Caso positivo, uma nova tela permitirá salvar a consulta em determinado diretório, com nome a escolha do analista. Caso negativo, esta tela não será aberta. Para ambos os casos executa-se o módulo Simulador da Produção, que é descrito no item 3.3.

3.2 - MÓDULO DE ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS (ADE)

A fim de representar o sistema de manufatura real, surge a necessidade de fornecer informações representativas e quantificadoras das condições e comportamento das variáveis peculiares ao sistema. Estas informações são elementos condutores do comportamento do modelo durante o processo de simulação, e são denominadas dados de entrada para o modelo de simulação. Os resultados provenientes da simulação dependem fundamentalmente, da qualidade dos dados de entrada.

Uma expressão muito utilizada na aplicação de modelos computacionais, que pode ser aplicada perfeitamente aos modelos de simulação, é aquela representada pela sigla GIGO (*garbage in, garbage out*), que significa se “entra lixo, sai lixo”. Devido a isto, é importante o critério de obtenção dos dados de entrada. Mesmo que toda a estrutura do modelo esteja correta, se os dados de entrada forem coletados e analisados de forma inadequada, desviando-se do comportamento real, certamente os resultados serão enganosos, podendo levar a decisões equivocadas e consequentemente ao prejuízo.

A literatura aponta alguns passos básicos que auxiliam e visam conduzir a uma correta obtenção dos dados de entrada [Pedgen, 1995; Freitas, 1997]:

- Passo 1: coleta de dados;
- Passo 2: tratamento de dados;
- Passo 3: identificação da distribuição estatística;
- Passo 4: estimativa dos parâmetros da distribuição identificada; e,
- Passo 5: testes de aderência.

3.2.1 - Coleta de Dados

Geralmente a determinação e coleta dos dados são tarefas demoradas e caras. É necessário que se faça uma observação criteriosa do sistema real, isto quando o mesmo existe, ou observar as especificações do projeto do sistema, no caso do mesmo não existir, de modo que seja possível coletar dados relevantes e representativos.

Assim sendo, dependendo das circunstâncias, as fontes de dados podem, na maioria dos casos, ser oriundas de arquivos históricos do sistema, de sistemas similares, de estimativas de projetistas ou considerações teóricas baseadas nas especificações dos futuros sistemas, ou ainda, provenientes de observações criteriosas do sistema sob estudo [Pedgen et al., 1995].

3.2.2 - Tratamento dos Dados

Passada a fase da coleta de dados e estando estes disponibilizados, é necessário que eles sofram um tratamento adequado, de modo a buscar uma representação adequada à posterior utilização das informações contidas nestes dados.

Para o caso do módulo de análise de dados para a simulação (ADS), escolhe-se a máquina a que está associada à observação (ver figura 3.9), e os dados são capturados diretamente via teclado ou pela leitura de um arquivo texto (*.txt), onde cada linha corresponde a um valor observado durante a coleta de dados.

Com os dados devidamente introduzidos, como ilustrado na figura 3.10, pressiona-se o botão “Curvas e Distribuições”. Com isso, uma série de funções e procedimentos são desencadeados em busca da distribuição estatística mais adequada. O primeiro destes, consiste na identificação dos limites extremos.

ENTRADA DE DADOS

Análise de nova distribuição

Dados referentes à(ao):

Responsável:

OK Cancelar

Figura 3.9– Entrada de dados associado a máquina.

Entrada de Dados

15.8
26.4
17.3
11.2
23.9
24.8
18.7
13.9
9.0
13.2

1 2 3 Enter
4 5 6
7 8 9 CE
0 C ### ###

Curvas e Distribuições

Abrir Salvar Fechar

Figura 3.10 – Entrada de dados.

A seguir, são determinadas a quantidade de intervalos e os seus respectivos limites. O número de intervalos depende fundamentalmente do número de observações e da dispersão entre os dados obtidos. Este número recebe o valor imediatamente superior da raiz quadrada do número de observações [Montgomery, 1991], de modo a evitar intervalos muito grandes ou muito pequenos, o que resultaria em uma perda de clareza [Freitas Filho, 1997].

Após as classes serem determinadas, passa-se à obtenção dos limites extremos globais, que são representados pelo número inteiro imediatamente inferior e superior aos limites extremos inferior e superior da amostra em análise, respectivamente. Com isso os demais limites intermediários são obtidos, considerando-se ainda o número de classes.

Com as classes e seus limites devidamente conhecidos, o módulo ADS executa uma varredura na amostra de modo a obter a frequência relativa de cada classe, permitindo assim a montagem de um histograma representativo.

3.2.3 - Identificação da Distribuição Estatística e Estimativa de Parâmetros

A determinação dos valores da média e da variância amostral é o primeiro passo para a estimativa dos parâmetros da provável distribuição. Assim sendo, o módulo ADS extrai as mesmas utilizando as equações 3.1 e 3.2, onde \bar{X} representa a média, S^2 a variância amostral, n o tamanho da amostra e x_i um dado valor da amostra com i podendo variar de 1 até n . Assim tem-se :

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.1)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{X}^2}{n - 1} \quad (3.2)$$

No presente trabalho foram implementadas quatro distribuições: normal, exponencial, triangular e weibull. Entretanto, somente as três primeiras foram totalmente implementadas no protótipo. A distribuição normal foi estudada pela primeira vez no início do século XVIII, quando alguns pesquisadores verificaram o alto grau de regularidade associados a erros de medição. A curva na forma de sino descreve fenômenos simétricos em torno da média, sendo utilizada sempre que a aleatoriedade for causada por várias fontes independentes agindo de forma aditiva. O Teorema do Limite Central estabelece que a soma ou a média de um grande número de valores aleatórios e independentes é aproximadamente igual à normal, independente da distribuição dos valores individuais [Montgomery,1991]. Com base neste teorema pode-se agrupar os tempos de inúmeros sub-processos independentes, somando-os e substituindo-os por um único valor, cujo resultado tende à distribuição normal [Freitas Filho, 1997].

O emprego da distribuição triangular ocorre principalmente quando se desconhece a curva associada, mas tem-se boas estimativas dos limites inferior e superior, e de seu valor médio mais provável.

Já a distribuição exponencial apresenta como principal característica representativa, a falta de memória e a total imprevisibilidade do fenômeno descrito, mesmo que se conheça o passado. Em outras palavras, o conhecimento prévio do tempo de ocorrência do último evento

não ajuda na previsão do tempo de ocorrência do próximo evento. Esta distribuição é muito utilizada na modelagem dos tempos decorridos entre dois eventos, particularmente se estes forem causados por um grande número de fatores independentes, tais como o tempo entre duas chegadas consecutivas. Para representar o tempo entre duas falhas de um equipamento, a distribuição Weibull é mais utilizada.

O processo de estimativa de parâmetros tem início com a determinação das medidas descritivas dos dados e das medidas de dispersão. Para a distribuição normal os estimadores sugeridos para a média e a variância são a média e a variância amostral, respectivamente. Para a distribuição exponencial o valor da média é igual ao inverso da média amostral. Para a distribuição triangular assume-se que os valores mínimo e máximo são os valores extremos da amostra, e o valor modal sendo o triplo da média amostral menos a soma dos valores extremos [Freitas Filho, 1997].

Cabe ressaltar que no presente trabalho a estimativa de parâmetros foi efetivamente implementada somente para a distribuição normal, ficando a implementação das demais distribuições para trabalhos futuros.

Para executar o módulo descrito acima, deve-se pressionar o botão “Curvas e Distribuições” do módulo mostrado na figura 3.10, resultando na interface representada na figura 3.11, que corresponde a uma distribuição normal.

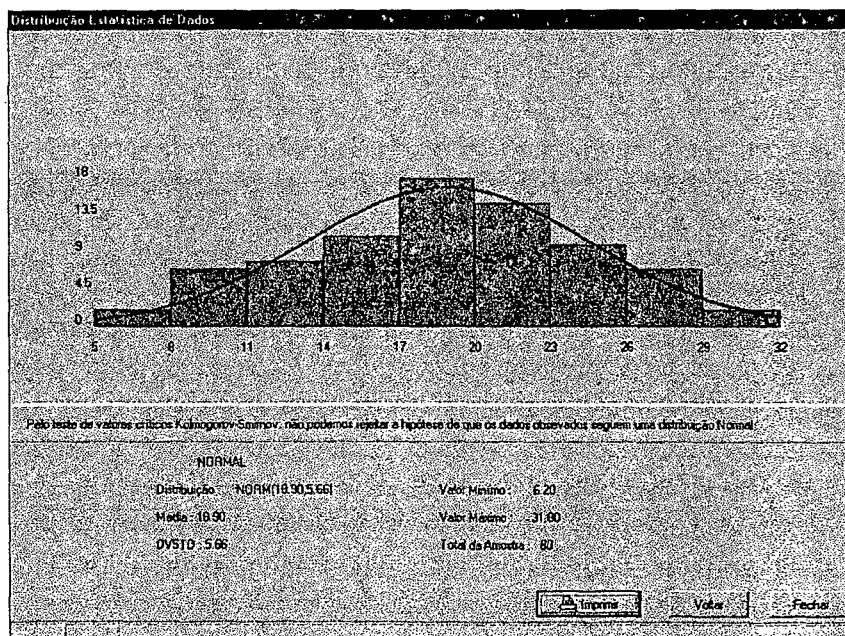


Figura 3.11 – Amostragem seguindo uma distribuição normal

As figuras 3.12 e 3.13 são obtidas pelo *Input Analyser* do Arena, que tem função análoga ao módulo ADS, que obedecem a distribuições triangular e exponencial, respectivamente.

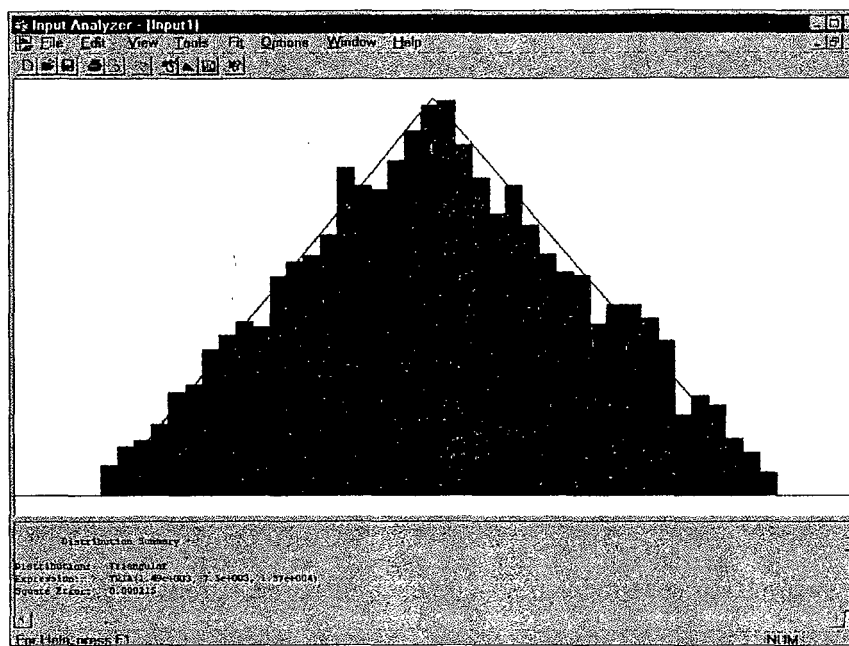


Figura 3.12 – Amostragem seguindo uma distribuição triangular

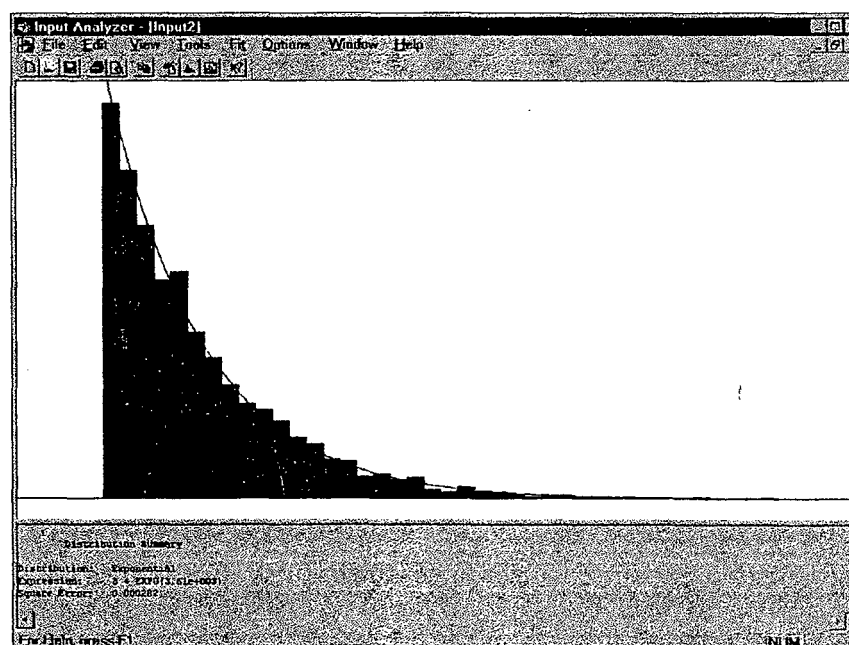


Figura 3.13 – Amostragem seguindo uma distribuição exponencial

3.2.4 - Testes de Aderência

Os testes de aderência têm como objetivo a verificação da qualidade da distribuição estimada para melhor representar a população que contém a amostra.

Normalmente os testes de aderência empregam métodos gráficos e/ou teóricos, entretanto no modelo ADS só será utilizado o método teórico ou estatístico. Os dois principais métodos estatísticos são o Chi-Quadrado e o Kolmogorov-Smirnov(K-S), que procuram medir e avaliar os desvios entre a distribuição amostral e a teórica.

Na atual versão o módulo ADS contém apenas o método K-S, e portanto o Chi-Quadrado fica para futuras versões. O teste K-S baseia-se na comparação das probabilidades acumuladas das distribuições observada e teórica. A maior diferença observada deve ser menor que o valor crítico do teste K-S, para um determinado nível de confiança [Montgomery,1991].

3.3 - MÓDULO DE SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO (SiP)

O módulo de Simulação da Produção (SiP) é o responsável pelo gerenciamento das mudanças de estado do sistema de manufatura simulado, no decorrer do tempo de simulação.

A interface é composta de dois painéis básicos dispostos lado a lado. O painel esquerdo constitui uma representação do leiaute do chão-de-fábrica, como mostra a figura 3.14.

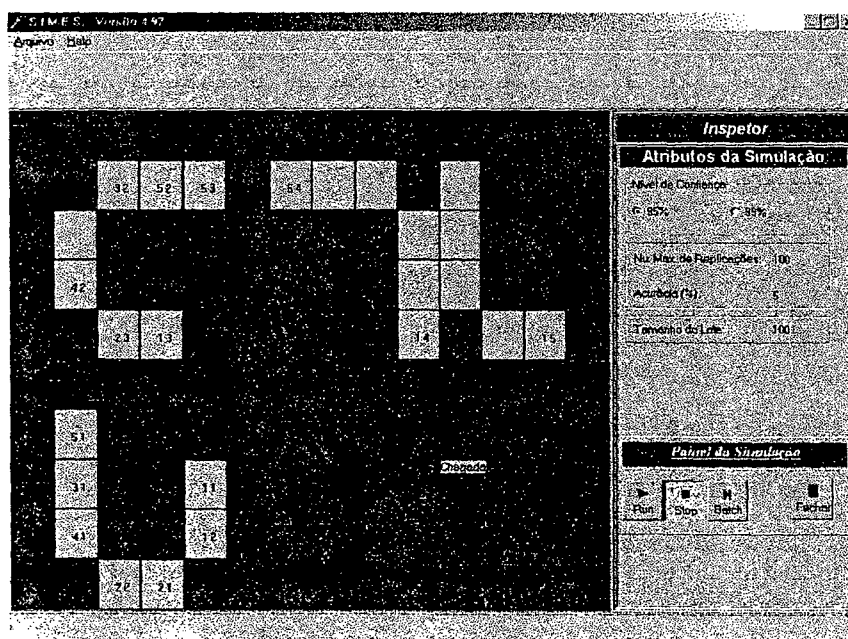


Figura 3.14 – Tela principal do Simulador

As máquinas previamente selecionadas nos módulos anteriores são mapeadas segundo seu índice matricial representativo da ordem de execução entre processos, e prioridade de atuação dentro do mesmo processo.

O painel da direita é denominado variante podendo representar três estados distintos: (a) os atributos da simulação; (b) os atributos das máquinas habilitadas; e (c) os atributos de chegada do lote. No instante inicial, o painel variante encontra-se no primeiro estado, isto é, contém os atributos relativos à simulação. Neste ponto, o usuário poderá alterar os atributos sugeridos. O primeiro deles corresponde à representação do nível de confiança desejado, que no instante inicial é de 95%. O usuário possui opção para alterá-lo para 99%. Entretanto, cabe ressaltar que esta ação poderá promover um aumento no número de replicações e consequentemente do tempo computacional necessário à obtenção dos resultados finais.

Outra alternativa encontrada refere-se ao número máximo de replicações permitidas, que estabelece um limite superior a fim de alcançar um intervalo de confiança, que respeite a acurácia e o nível de confiança estabelecidos. O valor original é de 100 replicações, podendo também ser diminuído até o valor extremo inferior, que é de 7 replicações. Uma descrição do procedimento para se obter este intervalo de confiança encontra-se no item 3.3.3.

A última alternativa deste painel é a acurácia, que representa o desvio máximo percentual da média das variáveis de controle. O valor original é de 5% podendo o mesmo sofrer modificações mediante atuação sobre este valor.

Neste painel encontram-se também os botões de disparo da simulação. O primeiro, representado pela palavra *"Run"*, desencadeia o processo com uma pseudo-animação, que consiste em atualizar as informações do estado dos recursos, bem como o tamanho da respectiva fila em tempo de simulação. Existe também uma outra opção representada pelo botão *"Batch"*, ou seja, executa a simulação sem artifícios de animação.

A segunda possibilidade de estado do painel variante permite a visualização dos dados de entrada de cada máquina. Para isto, é necessário a atuação sobre a região da tela, que representa a máquina a ser analisada, que terá sua cor invertida, como mostra a figura 3.15. Para retornar ao painel de simulação, deve-se atuar novamente sobre a região de cor invertida.

A terceira possibilidade de estado do painel variante corresponde aos dados de chegada. Para acessá-los, basta acionar a região intitulada de "Chegada" sobre o leiaute, como ilustra a figura 3.16. Novamente a cor da região é invertida. Para retornar à representação do painel de simulação, procede-se de maneira análoga, ou seja, atuando novamente sobre a região de cor invertida, fazendo com que a mesma retorne ao estado normal.

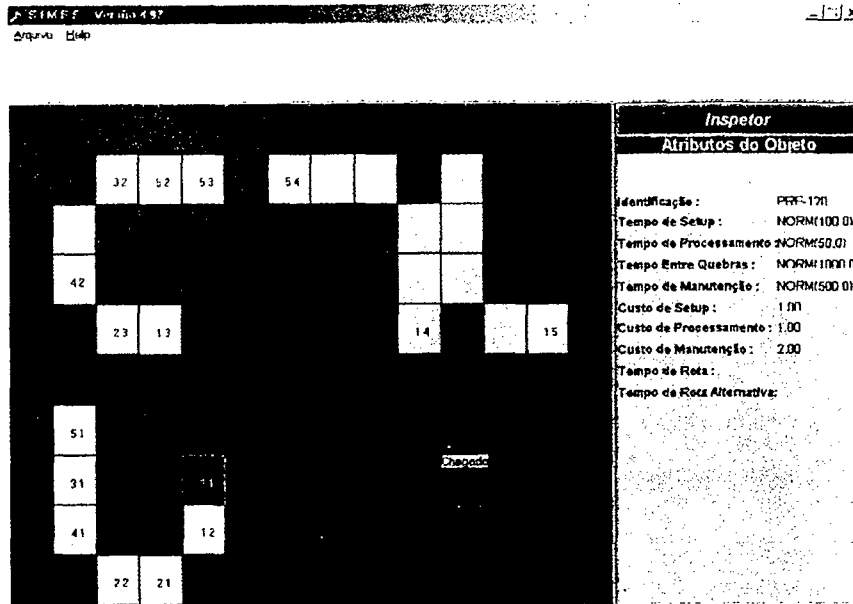


Figura 3.15 – Atributos da máquina selecionada

O próximo passo consiste em disparar a simulação, por atuação em um dos dois botões destinados para esse fim. A simulação é executada desencadeando uma série de procedimentos e funções que devem ser corretamente gerenciados a fim de não desperdiçar o tempo de processamento do computador. Para isto, métodos organizacionais e alguns mecanismos devem ser obedecidos, os quais são descritos nos próximos itens. Após alguns segundos de processamento computacional, o módulo Analisador dos Resultados da Simulação recebe o foco, ou seja, ocupa a tela.

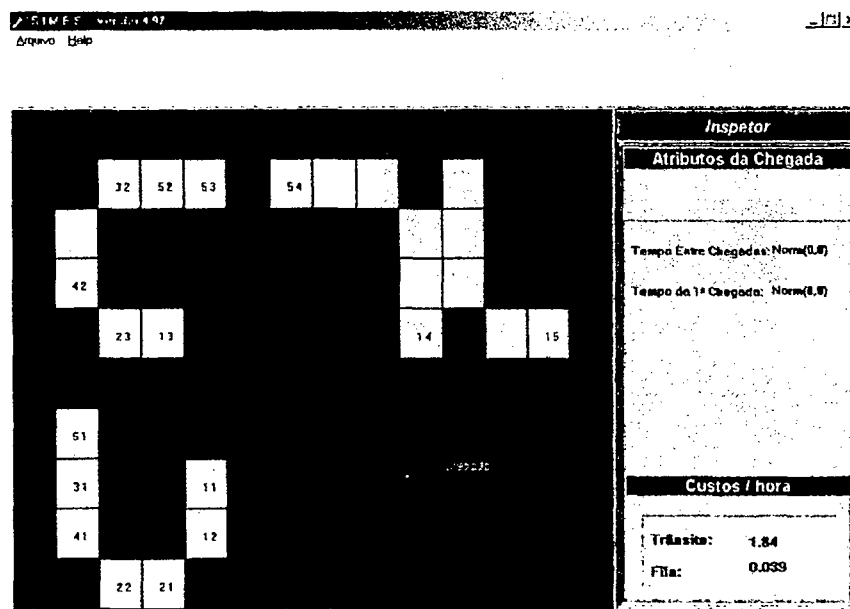


Figura 3.16 – Atributos de chegada

3.3.1 - Mecanismos de Avanço de Tempo

Existem dois principais mecanismos de avanço do tempo que aparecem nas diversas linguagens de simulação: (a) avanço do tempo para o próximo evento; e (b) avanço do tempo com incremento fixo. O primeiro é muito utilizado tanto em programas comerciais de simulação quanto por aqueles desenvolvidos através de linguagens de programação de propósito geral [Freitas,1997], tais como C++ e Pascal. O mecanismo adotado no SIMES-DIN é o avanço de tempo com incremento fixo. Entretanto, existe uma estrutura “case” (isto é, uma estrutura condicionante), que desvia todos os procedimentos subsequentes para o caso do tempo atual de simulação ser distinto da entidade topo da pilha do calendário da simulação. Cabe ressaltar que a literatura utiliza a nomenclatura de “relógio da simulação” para a variável que guarda o tempo atualizado de simulação. Neste trabalho convencionou-se que esta variável seja chamada de “Tempo Atual de Simulação”.

3.3.2 - Métodos de Modelagem

Os especialistas em simulação costumam utilizar um termo muito comum em textos que se referem a este assunto. Este termo corresponde ao *World View*, ou seja, visão da realidade ou do mundo, utilizado para designar especificamente que metodologia de modelagem será empregada para caracterizar as relações das entidades com os recursos, que alteram o estado do sistema.

Dentre várias metodologias, quatro se destacam pelo grau de utilização [Constantino, 1993; Freitas Filho, 1997]: método das duas fases ou do evento; método das três fases; método orientado à atividade; e método orientado ao processo. A metodologia empregada neste trabalho segue essencialmente o método das três fases, que será exposta resumidamente no próximo item.

3.3.3 - O Processo de Simulação

O processo de simulação propriamente dito é dividido basicamente em quatro partes: (a) declarações iniciais; (b) controle de estado dos servidores; (c) controle das entidades envolvidas; e (d) controle do número de replicações necessárias. Estas partes são controladas precisamente por dois mecanismos básicos, que são: mecanismo de Controle de Avanço de Tempo (CAT), e o mecanismo de Controle de Mudanças de Estado (CME). A sinergia entre os mecanismos é bastante acentuada e o foco do controle é transmitido um ao outro de maneira precisa, de modo a

permitir a economia de recursos computacionais, diminuindo assim o tempo necessário à execução da simulação.

O processo se inicia com o foco no Controlador de Avanço de Tempo (CAT). A principal variável deste controlador é responsável pelo registro do tempo atual de simulação, e o objetivo principal do CAT é avançar (ou incrementar) esta variável adequadamente. No tempo atual, o CAT executa a primeira parte básica do processo de simulação, que se constitui nas declarações iniciais, sendo responsáveis pela criação dos objetos denominados entidades. São criadas tantas entidades quantas são estabelecidas no tamanho de lote, representando as peças a serem fabricadas. Dois atributos se sobressaem dos demais, que são: o “aEstado” e o “aTempoDespertar”.

O atributo “aEstado” da entidade guarda o estado da mesma e pode assumir os seguintes valores: “PrevistaEntrarSistema”, “EmTransito”, “EmFila”, “EmProcessamento”, “Travada” e “Concluída”. Já o atributo “aTempoDespertar” marca o tempo em que efetivamente ocorrerá a próxima mudança de estado do sistema que envolve esta entidade.

Após a criação, as entidades são postas em uma pilha chamada “Calendário da Simulação” (CS). Neste local, as entidades que não possuem o atributo “aTempoDespertar” igual ao tempo atual de simulação são ditas em repouso. Entretanto, aquelas que possuem o tempo “aTempoDespertar” igual ao tempo atual são analisadas e recebem, uma a uma, o foco de controle do sistema. Assim, as entidades somente são despertadas no tempo exato em que são responsáveis pela alteração de algum estado, seja ele da própria entidade ou dos recursos.

Ainda como declarações iniciais encontram-se mais duas etapas: (a) criação dos eventos condicionantes de *setup*; e (b) criação dos eventos condicionantes de quebra.

Antes do detalhamento destas duas etapas, é conveniente salientar alguns atributos peculiares aos objetos denominados recursos. Os recursos representam as máquinas que executam o processamento das entidades ou peças. O principal atributo do recurso é chamado de Estado, podendo assumir diversos valores, tais como: “Livre”, “Ocupado”, “Quebrado”, “EmSetUP”, “EsperandoSetUP”, “Disponível” e “Indisponível”. Este atributo atua como variável de registro do estado da máquina.

A criação dos eventos condicionantes de *setup* são responsáveis pela alocação das equipes de *setup* em função da prioridade e da quantidade de equipes disponibilizáveis, previamente estabelecidas no módulo Pro-SIMES. Assim, são criados os eventos de *setup* e são programadas as ordens de ajustagem de máquinas. As máquinas que recebem as equipes disponíveis têm seu atributo “Estado” com valor “EmSetup” e as que ficam na espera recebem “EsperandoSetup”.

Nesta fase é utilizada a rotina de variáveis aleatórias, que retorna um valor aleatório em função da distribuição do tempo de *setup* especificado no Pro-SIMES. Assim, é determinado o tempo em que a máquina passará para o Estado “Livre”, no caso de disponibilidade, e é determinado o tempo inicial de *setup* em que a máquina passará para o estado “EmSetup”.

Na etapa de criação dos eventos condicionantes de quebra, todos os recursos que apresentarem o atributo “Estado” igual a “Disponível” recebem um valor oriundo da rotina de variáveis aleatórias, obedecendo à distribuição de tempos entre quebras do próprio recurso, que foi especificado no Pro-SIMES. Assim, cada recurso possui um tempo de quebra que irá ser confrontado com a quantidade de tempo em que o recurso permaneceu ocupado. Quando elas forem iguais, o sistema acusa a quebra do recurso em questão.

Concluída a parte de declarações iniciais, o CAT passa o foco de comando ao Controle de Mudanças de Estado (CME), que tem como missão gerenciar as mudanças de estado tanto das entidades quanto dos recursos. Inicia-se então, a segunda parte do processo de simulação, que consiste em controlar o estado dos servidores. É feita uma varredura em todos os servidores que foram credenciados no Pro-SIMES, sendo que a referência que direciona o controle é o atributo “Estado”. Dependendo do valor deste atributo, será executado um conjunto de procedimentos e funções que serão descritos a seguir de maneira pormenorizada.

Quando o atributo “Estado” de um servidor apresentar o valor “Livre”, será incrementado um contador que tem como função registrar a quantidade de tempo livre ou ocioso.

O atributo “Estado” pode assumir a condição de “Ocupado”. Uma série de testes subseqüentes são desencadeados nesta condição. Primeiro, verifica-se se no momento atual existe previsão de quebra. Caso exista, e se houver máquina alternativa previamente programada, haverá uma mudança de foco entre a máquina atual, em que houve a quebra, e a máquina alternativa. O atributo “Estado” da primeira muda de condição, assumindo o valor “Quebrado”. Um outro atributo guarda a previsão de tempo de manutenção, e no instante em que ocorre a quebra executa-se uma rotina que irá consultar qual a distribuição associada ao tempo de manutenção. De posse da distribuição, dispara-se a rotina de aquisição de variáveis aleatórias, que retorna o valor correspondente à distribuição em questão, e ele é somado ao tempo atual de simulação. Com isso, para efeito de controle, quando ocorre a quebra de uma máquina, fica estabelecido o momento em que esta ficará disponível novamente.

Com o foco na máquina alternativa, verifica-se se a mesma encontra-se devidamente ajustada, ou seja, pronta para a execução do serviço. Se assim estiver, ela recebe o estado “Livre”, de modo a receber as peças. Caso contrário, verifica-se se existe equipe disponível para fazer a operação de *setup*.

Havendo equipe livre, o atributo “Estado” recebe o valor “EmSetup”, e executa-se a rotina captadora de números aleatórios em função da distribuição do servidor em foco. Este valor também é registrado em uma variável que guarda o tempo em que a equipe em ação estará novamente livre. Caso não exista equipe livre, o atributo “Estado” recebe a condição “EsperandoSetup”.

É necessário ainda atuar sobre as entidades que se encontram no Calendário da Simulação (CS). Este calendário é uma pilha ordenada em função do tempo em que acontecerá alguma mudança de estado que envolva a entidade, podendo vir a mudar o estado de algum recurso envolvido. Assim o CS recebe uma varredura de modo a encontrar uma entidade sob o controle da máquina quebrada, e neste caso a entidade é redirecionada imediatamente para a máquina alternativa, e para isso o atributo “aEstado” da entidade assume o valor “EmTrânsito”. Seu valor de tempo é incrementado do valor aleatório correspondente à distribuição do tempo de rota da máquina quebrada à máquina alternativa, e esta entidade é devidamente reorganizada dentro do calendário.

Caso não exista uma previsão para a quebra da máquina no instante da análise, o seu tempo ocupado é incrementado.

O atributo “Estado” da máquina pode assumir a condição de “Quebrado”. Neste caso, o sistema verifica se o tempo atual corresponde ao tempo previsto para o término da manutenção. Se este for o caso, e se este recurso possuir prioridade de processamento (isto é, se ele for uma máquina principal ou uma alternativa com prioridade maior do que aquela que está efetivamente executando a função do processo), as peças serão postas novamente em trânsito para esta máquina, que reassume o processamento do lote. Seu atributo “Estado” assume a condição “Livre”. Caso o tempo atual não corresponde à previsão de término da manutenção, o seu tempo quebrado é incrementado.

Outro possível valor do atributo “Estado” do servidor é “EmSetup”. Caso assim se encontre, verifica-se se o tempo atual de simulação é igual ao tempo de previsão para fim de ajustagem. Se este for o caso, o atributo “Estado” recebe o valor “Livre”.

O atributo Estado ainda pode assumir o valor “EsperandoSetup”. Os comandos a serem executados constituem-se basicamente de testes de verificação se o tempo de previsão para o início do *setup* em função da disponibilidade de uma das equipes é igual ao tempo atual. Caso positivo, o atributo Estado recebe o valor “EmSetup”.

O próximo passo consiste em dar início à terceira parte do processo de simulação, que corresponde ao controle das entidades envolvidas. Neste ponto, o foco se faz na entidade que se encontra no topo da pilha que é retirada do Calendário de Simulação (CS), e que sofrerá uma

bateria de testes, que dependerão fundamentalmente do seu atributo “aEstado”. Entretanto, a entidade só receberá o foco se o seu atributo “aTempoDespertar” for igual ao tempo atual de simulação. Serão analisadas todas as possibilidades de confronto entre o estado da entidade e da máquina destino, e isso será feito como descrito a seguir.

Se o atributo “aEstado” possuir o valor “PrevistaEntrarSistema”, a entidade é direcionada para a máquina em foco do primeiro processo, e “aEstado” passa a receber o valor “EmTransito”. A rotina de variáveis aleatórias retorna um tempo de rota correspondente à distribuição do tempo de rota entre o ponto de chegada, isto é, o almoxarifado e a máquina em foco no primeiro processo (destino), sendo adicionado ao tempo atual e associado ao atributo “aTempoDespertar”. A partir daí, a entidade é novamente posicionada no calendário de simulação na posição adequada.

Caso o atributo “aEstado” possua o valor “EmTransito”, verifica-se se a máquina em foco do processo destino se encontra livre. Se assim estiver, a entidade será processada e seu atributo “aEstado” receberá o valor “EmProcessamento”. Novamente a rotina de distribuição aleatória fornecerá um tempo correspondente à distribuição do tempo de processamento para a respectiva máquina, que foi associado no Pro-SIMES. Com isto, o atributo “aTempoDespertar” recebe este valor adicionado do tempo atual. Assim, a entidade retorna ao CS na devida posição onde ficará em repouso, até que o tempo atual de simulação corresponda ao valor do seu atributo “aTempoDespertar”.

Caso o atributo “aEstado” da entidade possua o valor “EmTransito” e o atributo “Estado” da máquina destino seja igual ao valor “EsperandoSetUp” ou “EmSetUp”, a entidade não poderá ser processada, pois o recurso ainda não se encontra ajustado. Assim o atributo “aEstado” da entidade recebe o valor “EmFila”, e a mesma é posta em repouso adequadamente no calendário da simulação. Neste caso, o atributo “aTempoDespertar” receberá a soma entre o tempo atual da simulação e o tempo da previsão do término da ajustagem.

Caso o atributo “aEstado” da entidade possua o valor “EmTransito” e o atributo “Estado” da máquina destino seja igual ao valor “Ocupado”, a entidade novamente entrará em fila. Entretanto, o seu “aTempoDespertar” receberá o valor atual somado ao tempo previsto para completar o processamento da última entidade na fila, e entrará em repouso numa posição adequada no CS.

Uma última opção ainda deve ser considerada, para o caso do atributo “aEstado” da entidade ser igual a “EmTransito”, que representa a situação em que a máquina se encontra com o atributo “Estado” igual a “Quebrado”. Esta opção cobre a possibilidade da última máquina alternativa falhar. Assim, não restando outra opção, a entidade deverá aguardar até que esta

máquina ou outra com prioridade volte ao Estado “Livre”. O atributo “aTempoDespertar” recebe o tempo de previsão para retorno à atividade, e é posta em repouso adequadamente no CS.

Um tratamento análogo deveria ser feito para o caso da entidade em foco se encontrar com o atributo “aEstado” igual a “EmFila”. Entretanto, só existe uma possibilidade do estado da máquina destino possuir o atributo “Estado” com valor “Livre”. As demais não são analisadas pois é logicamente impossível outra combinação. Assim, sempre que uma entidade que receber foco estiver com o atributo “aEstado” igual a “EmFila”, ela automaticamente entrará em processamento. Com isso, o atributo “Estado” da máquina recebe o valor “Ocupado”, enquanto que o atributo “aEstado” da entidade recebe o valor “EmProcessamento”, e finalmente o atributo “aTempoDespertar” recebe a soma entre o tempo atual de simulação e o tempo necessário para o processamento.

Outro caso semelhante se dá quando o valor do atributo “aEstado” da entidade for igual a “EmProcessamento”. Se isso acontecer significa que a máquina em foco terminou o processamento e seu atributo “Estado” deverá passar de “Ocupado” para “Livre”, ao passo que o atributo “aEstado” da entidade recebe o valor “EmTransito”. Novamente será associado, por intermédio da rotina de variáveis aleatórias, um valor correspondente ao tempo de rota compatível com a distribuição respectiva à origem / destino. Este valor é somado ao tempo atual e atribuído ao “aTempoDespertar”. A entidade entra adequadamente no CS e fica em repouso.

Faz-se então novamente uma consulta ao CS, identificando o valor do atributo “aTempoDespertar” da entidade no topo da fila. Se este ainda for igual ao tempo atual, todo o tratamento anterior é executado novamente. Somente quando a entidade topo não estiver programada para despertar no instante atual é que se dá andamento às etapas subseqüentes, onde o CME retorna o foco ao CAT, que por sua vez inicializa uma série de testes que promovem a continuidade de execução pelo avanço do tempo atual de simulação. Todo o processo de análise é repetido a cada avanço temporal, até que não haja qualquer entidade no calendário da simulação, correspondendo assim ao fim do processo de simulação.

É importante ressaltar que a maneira pela qual a lógica foi estruturada garante que, quando a entidade receber o foco, obrigatoriamente haverá uma mudança de estado, seja na própria entidade, seja no recurso em foco. Isto elimina uma grande quantidade de testes desnecessários e promove a otimização dos recursos computacionais. Outro fator que colabora para esta otimização é que toda entidade que entra é posicionada na devida ordem, garantindo assim que o CS sempre fique ordenado, dispensando-se assim o esforço computacional de ordenação.

Quando não mais houver entidades no CS, dá-se início à quarta parte do processo de simulação, que corresponde ao controle do número de replicações necessárias. É dado a opção ao analista de entrar com o número mínimo de replicações. Como *default* tem-se 7 replicações consecutivas, sendo desconsiderada a primeira, e ao término da última replicação, calcula-se a média e a variância amostral. Com estes cálculos e de posse do nível de confiança estabelecido pelo usuário (95% ou 99%), obtém-se o intervalo de confiança. A partir daí é executado um procedimento de teste de modo a verificar se a acurácia, que foi estabelecida pelo usuário, foi alcançada com as replicações realizadas. Caso contrário, sucessivas replicações são realizadas, até que esta regra seja obedecida. A justificativa para a utilização deste procedimento para o controle do número de replicações é feita nos parágrafos seguintes.

Os procedimentos envolvidos em análises de resultados variam de acordo com o tipo de sistema que está sendo tratado. Assim, estes sistemas podem ser classificados como sistemas terminais ou não-terminais [Freitas Filho, 1997]. O primeiro apresenta condições iniciais fixas, ou seja, a cada início de nova rodada de simulação o sistema volta a assumir as condições iniciais. Já o segundo tipo de sistema não possui condições iniciais fixas, ou seja, a cada nova rodada de simulação o sistema mantém as condições do momento. Neste caso, não existe um evento específico que determina o fim do processo de simulação.

No presente trabalho considera-se um sistema terminal. O lote de peças é simulado e cada peça é processada pelas máquinas contidas em seu roteamento. Com o objetivo de inicializar as condições de máquinas em termos das distribuições estatísticas de quebra, terminado o processamento da última peça, um novo lote de peças com características idênticas dá entrada no sistema. Entretanto, as condições das máquinas não retornam às condições iniciais do primeiro lote. Assim, o tempo previsto entre quebras é propagado para os lotes subsequentes. Entretanto, cabe ressaltar que as estatísticas são registradas separadamente para cada lote simulado. Assim sendo, apesar do processo de simulação seguir sem zerar qualquer variável, cada lote funciona como uma replicação para fins de análise estatística.

A fase seguinte consiste na determinação de intervalos de confiança para as variáveis de tempo total de processamento e do custo total de fabricação do lote. O intervalo de confiança representa um intervalo numérico que possui uma probabilidade (ou nível de confiança) de conter o verdadeiro valor da variável que está sob análise igual a $(1-\alpha)$.

Três fatores influenciam a largura do intervalo de confiança que são os seguintes:

- O número de replicações (n), uma vez que na medida em que se aumenta este número, reduz-se a largura do intervalo de confiança para um mesmo nível de confiança.

- O próprio nível de confiança ($1-\alpha$) definido pelo usuário, sendo que quando este aumenta, a largura do intervalo de confiança também aumenta.
- A variância amostral (S^2) associada à variável em análise. Na medida que esta aumenta, aumenta também a largura do intervalo de confiança. A variância depende da combinação dos diversos parâmetros do sistema, e consequentemente a maior ou menor variabilidade independe da vontade do analista. Assim, a liberdade de atenção por parte do usuário fica restrita ao número de replicações e ao nível de confiança.

O presente trabalho adotou a seguinte estratégia: as análises são executadas para um nível de confiança estabelecido, isto é, 95% ou 99%. Determina-se desta forma um intervalo de confiança, e dentro deste procura-se manter uma acurácia em torno da média de cerca de 5%, tanto superior como inferior, respeitando o limite máximo de replicações estabelecidas pelo usuário. Tal valor de 5% pode ser alterado pelo usuário.

O programa inicia a simulação desprezando o primeiro lote e registra as informações em torno das variáveis de controle do segundo ao sexto lotes. Neste ponto realiza-se um procedimento de cálculo dos intervalos de confiança para o nível de confiança estabelecido. Caso esteja dentro da acurácia estabelecida, o processo chega ao fim e a análise de resultados é exposta na tela. Caso contrário, um novo lote é processado e os procedimentos de análise em termos do intervalo de confiança e da acurácia são executados novamente. O processo segue sucessivamente até que seja alcançada a acurácia ou o número máximo de replicações estabelecido pelo usuário. Com isso, o foco é transmitido ao módulo Analisador de Resultados da Simulação (ARS).

3.3.4 - Rotina de Geração de Variáveis Aleatórias

Com o intuito de conferir um maior grau de realismo ao modelo, incorporou-se ao sistema computacional a geração de variáveis aleatórias obedecendo uma distribuição de probabilidades pré-estabelecidas pelo usuário.

Todo número aleatório é uma amostra independente de uma distribuição uniforme que é contínua no intervalo de zero a um, e com isso a função densidade de probabilidade de x é dada por:

$$f(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & 0 > x > 1 \end{cases}$$

(3.3)

Como consequência da uniformidade e independência, tem-se que o intervalo $[0,1]$ é subdividido em n classes de igual tamanho, e o valor de observações em cada intervalo é a razão entre N e n , onde N é o número total de observações. Considera-se que a probabilidade de observar-se um valor igual a “U”, em um intervalo em particular, é independente dos valores previamente obtidos.

Existem várias técnicas que geram números aleatórios, sendo que a mais empregada utiliza uma relação recursiva, onde o próximo número aleatório gerado é função do último, ou dos dois últimos números gerados, dando origem a uma série de números aleatórios. Entretanto, esta série necessita de um valor inicial com o objetivo de iniciar a geração da sequência. Este valor inicial é denominado *semente* [Freitas Filho, 1997].

Como métodos geradores de números aleatórios no presente trabalho, usou-se a função “Random” do software Borland Delphi3, que retorna um número aleatório “U” entre 0 e 1. Associada a esta função, existe uma outra função que estabelece a semente sobre a qual a primeira irá se basear. Uma possibilidade consiste em utilizar a função “RandSeed”, que estabelece uma semente específica, gerando repetitivamente uma mesma sequência de números aleatórios. Entretanto, foi utilizada a função “Randomize” que varia as sementes em função do relógio de data/hora do sistema.

O processo de geração de valores de uma distribuição de probabilidade específica segue dois passos: o primeiro se dá pela geração de um número aleatório de uma distribuição uniforme entre 0 e 1; e o segundo consiste em uma transformação matemática deste número aleatório gerado, de modo a representar uma variável com uma distribuição específica.

Na presente implementação estão disponibilizados quatro tipos de distribuições contínuas, que são: distribuição normal, exponencial e triangular.

Para a distribuição normal utilizou-se o método de “Box Muller” para obtenção das variáveis seguindo esta distribuição [Constantino, 1993]. Neste método, baseado em dois números aleatórios entre 0 e 1 chamados de U_1 e U_2 , tem-se o seguinte valor de x seguindo uma distribuição normal:

$$x = \sqrt{-2 \ln U_1} \cdot \cos (2 \pi U_2) \text{ ou} \quad (3.4)$$

$$x = \sqrt{-2 \ln U_1} \cdot \sin (2 \pi U_2) \quad (3.5)$$

A função de densidade de probabilidade (“fdp”) $f(x)$ para a normal é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad -\infty < x < \infty \quad (3.6)$$

onde μ representa a média, e σ o desvio padrão da distribuição. A figura 3.11 ilustra uma distribuição normal.

Para a distribuição triangular, ilustrada pela figura 3.12, utilizou-se a método da transformação inversa, sendo a o valor mínimo, b a média e c o valor máximo, obtendo-se para x seguindo esta distribuição o valor:

$$x = \begin{cases} a + \sqrt{U(b-a)(c-a)}, & 0 \leq U \leq \frac{b-a}{c-a} \\ c - \sqrt{(1-U)(c-b)(c-a)}, & \frac{b-a}{c-a} < U \leq 1 \end{cases} \quad (3.7)$$

A “fdp” $f(x)$ para a distribuição triangular é dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)}, & a \leq x \leq b \\ \frac{2(c-x)}{(c-b)(c-a)}, & b < x \leq c \end{cases} \quad (3.8)$$

Para a distribuição exponencial, tem-se uma variável aleatória x dada por:

$$x = -\frac{\ln U}{\lambda} \quad (3.9)$$

onde λ representa o inverso do número médio de ocorrências por unidade de tempo, enquanto que a razão $1/\lambda$, representa o tempo médio entre as ocorrências. A figura 3.13 ilustra uma distribuição exponencial.

A “fdp” da distribuição exponencial é dada por:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad x \geq 0 \quad (3.10)$$

A distribuição weibull corresponde a uma família de funções de densidade largamente utilizada na descrição de falhas em análise de confiabilidade. Pelo método da transformação inversa obtém-se um valor x que representa esta distribuição, e assim tem-se:

$$x = \alpha [-\ln(U)]^{1/\beta} \quad (3.11)$$

Tem-se para a “fdp” da distribuição weibull a seguinte função $f(x)$:

$$f(x) = -\frac{\beta}{\alpha^\beta} x^{(\beta-1)} e^{-\left[\frac{x}{\alpha}\right]^\beta}, \begin{cases} x \geq 0 \\ \alpha > 0 \\ \beta > 0 \end{cases} \quad (3.12)$$

3.4 - MÓDULO DE ANÁLISE DE RESULTADOS DA SIMULAÇÃO (ARS)

A análise de resultados trabalha com os dados gerados pela simulação, e portanto é fundamental que as informações geradas sejam resultados de modelos confiáveis, e estes por sua vez devem receber dados de entrada devidamente tratados. Tomando como base que tais condições são atendidas, é possível tratar o comportamento aleatório do sistema.

Cabe ressaltar que baseado no fato que são empregados números aleatórios para representar o modelo de um sistema, e sabendo-se que a semente geradora é função do relógio interno do computador, os resultados de duas simulações serão diferentes em função da natureza estocástica de suas variáveis.

O módulo Analisador de Resultados da Simulação apresenta os resultados intitulados em quatro tópicos, a saber: Geral, Tempo, Custo e Máquinas.

No tópico “Geral” ilustrado na figura 3.17, apresenta-se um panorama global dos resultados obtidos, a começar pela exposição de alguns dados de entrada, tais como, o código, o nome e o tamanho do lote. Também são apresentadas informações relativas ao número de replicações, tais como: o número de replicações desconsideradas, de modo a minorar os efeitos da fase transiente; o número de replicações que efetivamente influenciaram os resultados obtidos; e o número total de replicações realizadas seguido de uma barra que o separa do número máximo de replicações admissível, que foi estabelecido pelo analista.

Ainda como representação de dados de entrada é apresentada uma relação das máquinas que foram disponibilizadas para a confecção do lote.

Por fim, encontram-se registrados os resultados obtidos, no que se refere ao custo e ao tempo total de fabricação do lote, bem como uma visualização gráfica, centrada na média obtida, do intervalo de confiança e dos valores extremos que foram encontrados na amostra.

A segunda divisão intitulada “Tempo”, representada pela figura 3.18, mostra um panorama de todos os tempos envolvidos, ou seja, o tempo total é dividido em 3 partes: a

primeira focaliza a parcela de tempo médio que efetivamente cada peça permaneceu em processamento; a segunda registra o tempo médio em que cada peça fica em fila, esperando que o recurso seja liberado, ou por outra peça, ou pela equipe de manutenção ou pela equipe de setup; e a terceira refere-se ao tempo médio no qual os recursos de transporte foram alocados. Baseado nestes dados, é possível levantar o percentual destas parcelas e representar graficamente a contribuição de cada uma sobre o total.

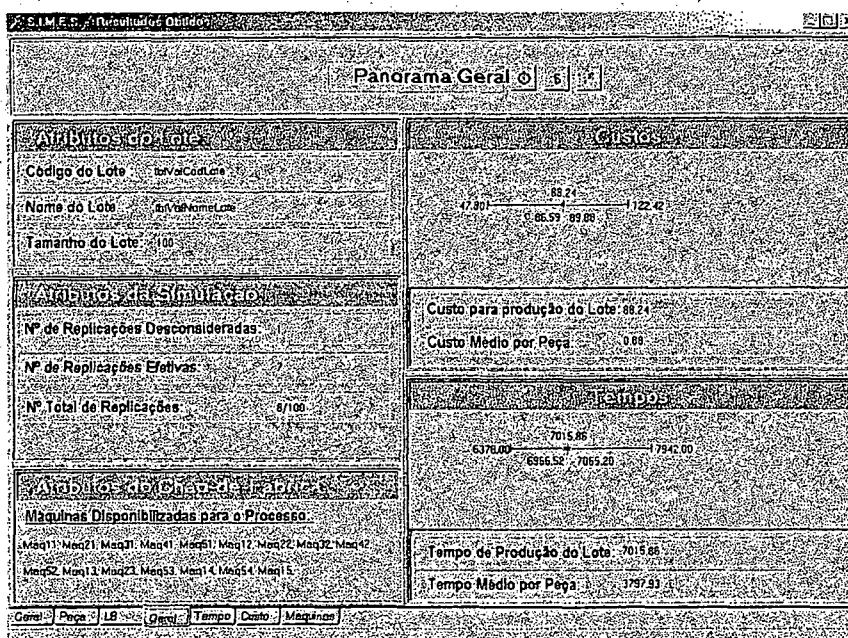


Figura 3.17 – Tela de resultados - Panorama Geral

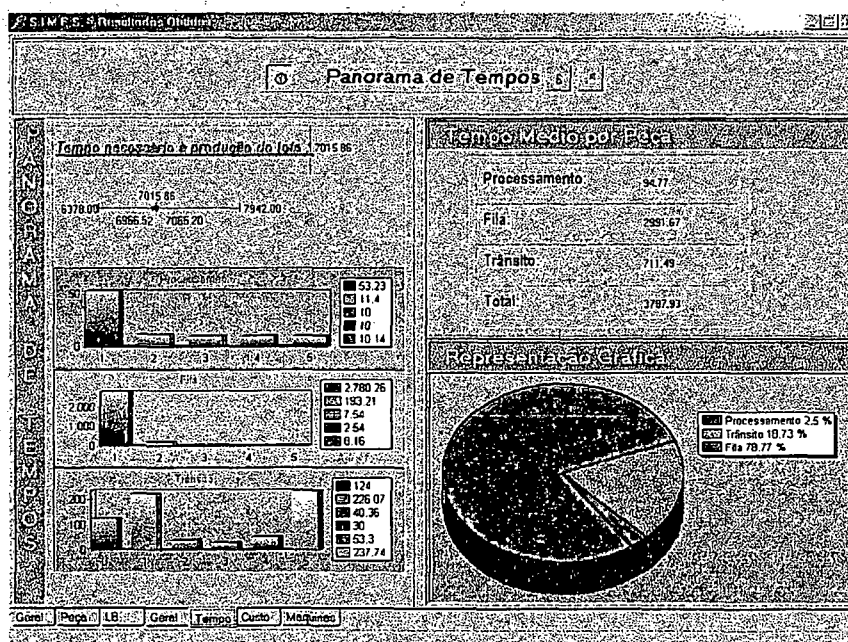


Figura 3.18 – Tela de resultados - Panorama de Tempos

Outros dois estudos são feitos e encontram-se representados no tópico “Tempos”. O primeiro consta em levantar e representar o valor mais provável para o tempo total necessário à fabricação do lote, juntamente com o intervalo de confiança associado a um nível de confiança preestabelecido (95% ou 99%) pelo usuário, obedecendo a restrição imposta pela acurácia que limita o intervalo de confiança em torno de um percentual de variação sobre a média.

Por fim, uma análise por processos é executada com o intuito de monitorar a contribuição percentual de cada um dos cinco possíveis processos sobre o tempo total de processamento, de fila e de trânsito. Com isso, fica fácil a determinação dos gargalos de produção, onde efetivamente deverá ser feito um estudo minucioso em busca da otimização deste recurso levando a uma diminuição do tempo total de fabricação. Outro fator importante, é a possibilidade de utilizar a representação gráfica, que facilita a visualização e a comparação por processos, na busca de um melhor aproveitamento das máquinas, proporcionando bases concretas ao estudo do balanceamento da célula.

O terceiro tópico é o de “Custo”. Nesta representação ilustrada na figura 3.19, pode ser observado o valor mais provável do custo total necessário à fabricação do lote, bem como o intervalo de confiança para este valor, obedecendo o nível de confiança e a acurácia anteriormente estabelecida.

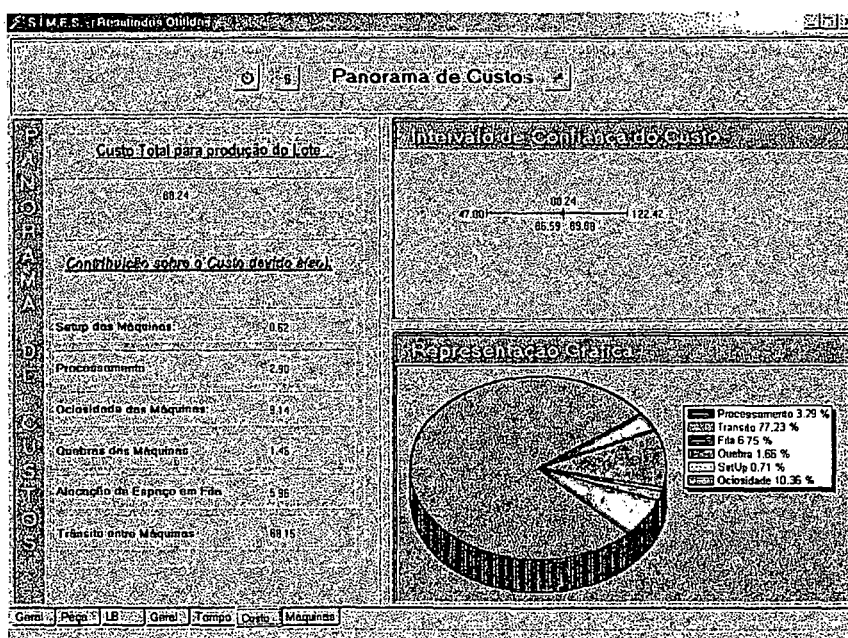


Figura 3.19 – Tela de resultados - Panorama de Custos

Outra informação agregada é a divisão do valor mais provável do custo total do lote em função de seis atividades, que induzem custos ao lote, a saber: Setup; Processamento; Ociosidade; Manutenção; Fila e Trânsito. Associado ao resultado obtido do custo médio

referente a cada uma destas parcelas, encontra-se uma representação gráfica, onde o percentual de cada atividade é ressaltado e a fatia correspondente sobre o todo fornece dados estratégicos para tomada de decisões quanto a possíveis alterações ou investimentos potenciais.

O quarto e último tópico é o de “Máquinas”, que permite que se faça uma análise pormenorizada de cada máquina disponibilizada para a fabricação do lote. Uma representação esquemática do leiaute do chão-de-fábrica é mostrada na figura 3.20, onde são associados botões às máquinas. Mediante atuação em um botão, tem-se a visualização dos resultados obtidos para a máquina associada. Desta forma é possível controlar a navegação e permitir a análise de qualquer máquina conforme a vontade do analista. Sobre esses botões podem aparecer 3 caracteres diferentes: o primeiro é a letra “P” que significa que a máquina que está associada a esse campo corresponde a uma máquina principal de um processo; o segundo é a letra “A”, que indica uma máquina alternativa; e o terceiro corresponde a um campo em branco, indicando que tal recurso não foi disponibilizado para a execução do lote analisado no módulo Pro-SIMES. Outra facilidade associada é que ao posicionar o *mouse* sobre um determinado botão, uma pequena caixa de diálogo (*hint*) contendo o código do recurso é mostrada na tela.

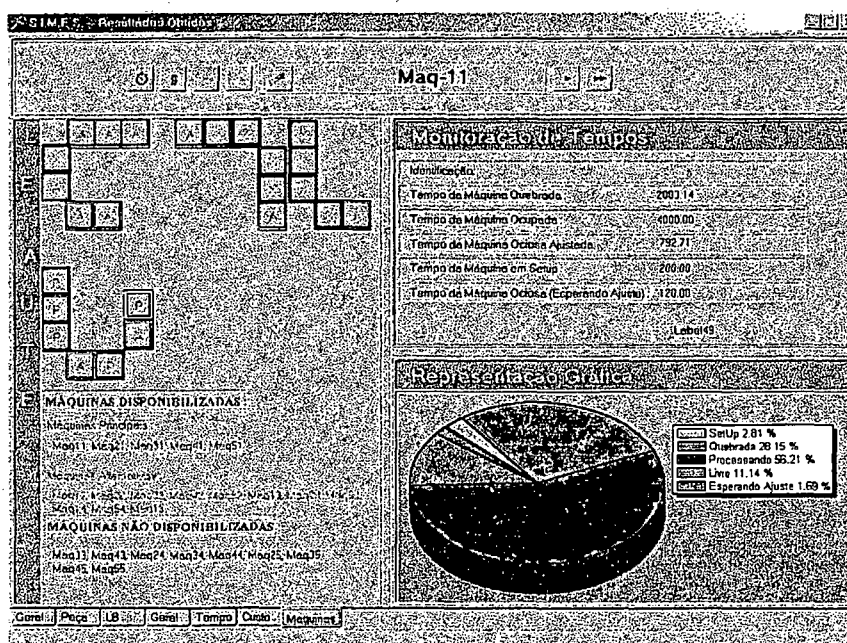


Figura 3.20 – Tela de resultado - Panorama de Máquinas

Como mencionado anteriormente, ao pressionar-se um destes botões, informações relativas à máquina associada serão mostradas na tela. Dentre estas informações pertinentes à máquina encontram-se; a sua identificação; o tempo em que ela manteve-se ocupada processando as peças; o tempo em que ela esteve quebrada, em setup, ociosa, e esperando para entrar em setup, pela falta de uma equipe competente disponível. Uma representação gráfica

acompanhada dos percentuais relativos aos estados de máquina supracitados, permite uma análise do envolvimento daquele recurso específico na fabricação do lote.

A motivação para se dividir a apresentação dos resultados nestes quatro tópicos, resulta da necessidade de fornecer dados agrupados visando a execução de uma análise em diferentes níveis de observação, desde o contexto da produção como um todo, até o exame pormenorizado da influência do lote em questão sobre cada uma das máquinas disponibilizadas.

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de mostrar a utilização do protótipo do sistema idealizado, buscou-se na literatura um exemplo clássico de produção a fim de possibilitar a elaboração de um cenário fictício bem próximo ao real. Este exemplo foi encontrado em [Burbidge, 1988].

Neste capítulo encontram-se pormenorizados os atributos da produção; da fábrica; dos recursos disponíveis; e dos sistemas de transporte de peças utilizados. Faz-se também uma análise completa da robustez de um produto do ponto de vista do tamanho do lote, além de um levantamento de prazos de produção para um lote com prioridade, em função de um aumento potencial de demanda, o que exige alta flexibilidade da empresa. Cabe ressaltar que os tempos e custos foram estimados, pois a literatura específica não disponibiliza tais dados.

No presente trabalho, não buscou-se uma parceria com uma empresa real, pois inicialmente não existia um protótipo para fins de demonstração para fundamentar uma eventual proposta de aplicação. Além disto, o tempo para realizar a coleta de dados seria bastante significativo, o que inviabilizaria o prazo proposto para a conclusão da dissertação de Mestrado.

4.1 - PRODUÇÃO DA FÁBRICA

O exemplo proposto por Burbidge, que foi o pioneiro em estudos e análise de fluxos da produção, considera a fabricação de 43 tipos de peças a serem processadas em uma fábrica com 16 máquinas distintas. Um problema inicial consiste em buscar arranjos celulares para estas máquinas, com o objetivo de otimizar a produção. Uma matriz de incidência 16x43 representa a produção em questão, onde as linhas correspondem às máquinas e as colunas, às peças. Cada campo desta matriz pode assumir os valores "1" ou "0", onde o valor "1" caracteriza a necessidade da peça (coluna) ser processada pela máquina (linha), como ilustrado na figura 4.1. O valor "0" significa que aquela peça não necessita ser processada naquela máquina.

Outra hipótese considerada é que estas peças são de pequeno porte e passíveis de serem transportadas manualmente entre máquinas pelos operadores.

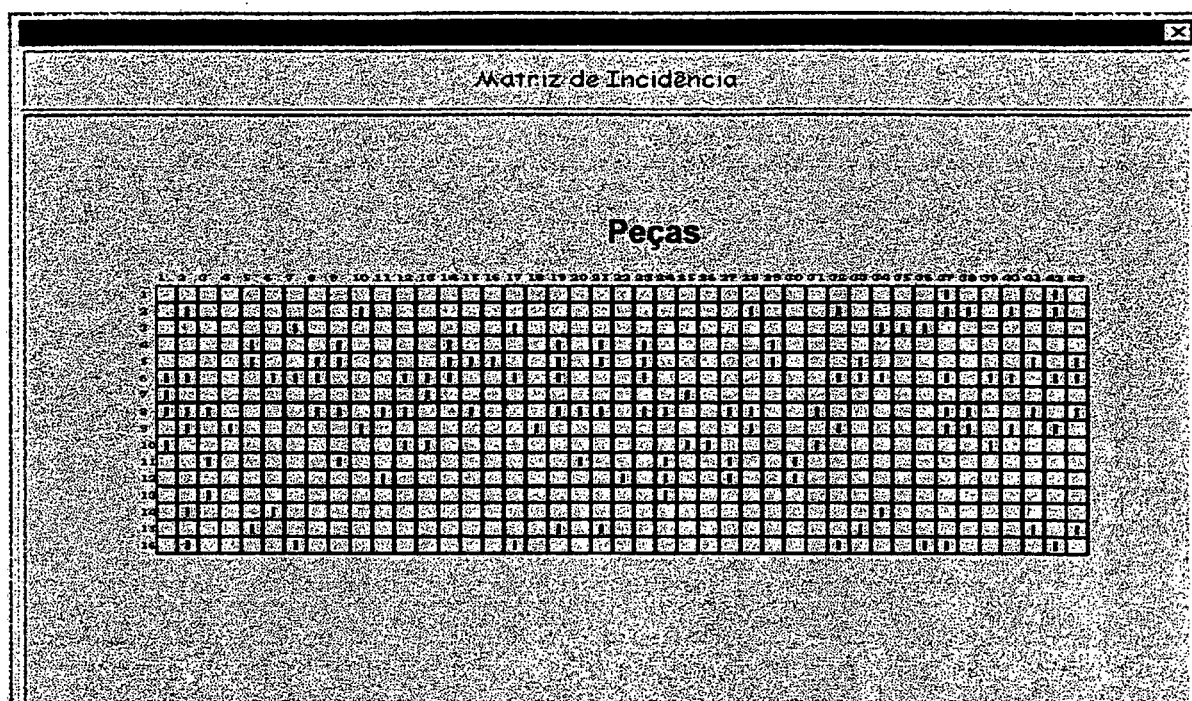


Figura 4.1 - Matriz de incidência

4.2 - LEIAUTE DA FÁBRICA

Num sistema de manufatura, o projetista responsável pelo leiaute deve estar atento a vários fatores, tais como: número de recursos envolvidos; volume de tráfego entre os mesmos; área necessária; e restrições geométricas impostas por cada recurso, bem como as impostas pela área disponibilizada. Com o objetivo de facilitar o trabalho de elaboração de leiautes, a literatura apresenta diversas técnicas que são úteis na determinação dos mesmos.

Basicamente os leiautes podem ser estabelecidos (construídos) no início das atividades de uma fábrica, ou melhorados a partir de um leiaute existente. O algoritmo que gera um leiaute em uma área livre é chamado de algoritmo de construção, e como exemplo podem ser citados o PLANET, o CORELAP [Lee e Moore, 1967] e ALDEP [Seehof e Evans, 1967]. Por outro lado, quando o algoritmo gera um leiaute mediante melhoramento de um existente, ele é chamado de algoritmo de melhoramento, e como exemplo podem ser citados o CRAFT [Armour e Buffa, 1963] e o COFAD [Tompkins e Reed, 1976].

Um dos grandes problemas destes algoritmos é a incapacidade de tratar restrições geométricas, tais como construções que não correspondam a uma forma retangular, ou pela existência de regiões no interior da construção que não possam ser ocupadas pelos recursos, ou

seja, regiões proibidas, pois nela existem escadas, pilares de sustentação, elevadores e outras [Furtado e Lorena, 1997; Pierreval e Tautou, 1997].

No presente trabalho, foi desenvolvido um módulo de projeto do leiaute do chão-de-fábrica, e nele foram aplicadas algumas técnicas encontradas na literatura supracitada. Entretanto, algumas simplificações foram feitas na determinação do leiaute, e uma delas consiste em desconsiderar a existência de locais proibidos no interior da região retangular delimitada.

Um fator importante a ser determinado é a quantidade de células a serem instaladas. Para isto, foi implementado um módulo para criar e associar famílias de peças a células de máquinas, e o mesmo foi utilizado para idealizar-se a fábrica. Este módulo encontra-se em fase final de desenvolvimento, mas em sua versão atual ele permite que algumas análises sejam feitas. Este módulo utiliza uma versão do método de *branch-and-bound* [Katan, 1990, 1997], que analisa a matriz de incidência visando formar famílias de peças e células flexíveis de manufatura simultaneamente. Ao introduzir-se a matriz de incidência 16x43 nesse módulo, o resultado obtido foi a formação de três famílias de peças, onde cada uma é processada por uma célula distinta, representadas pelos códigos "C-1", "C-2", e "C-3", como mostra a figura 4.2.

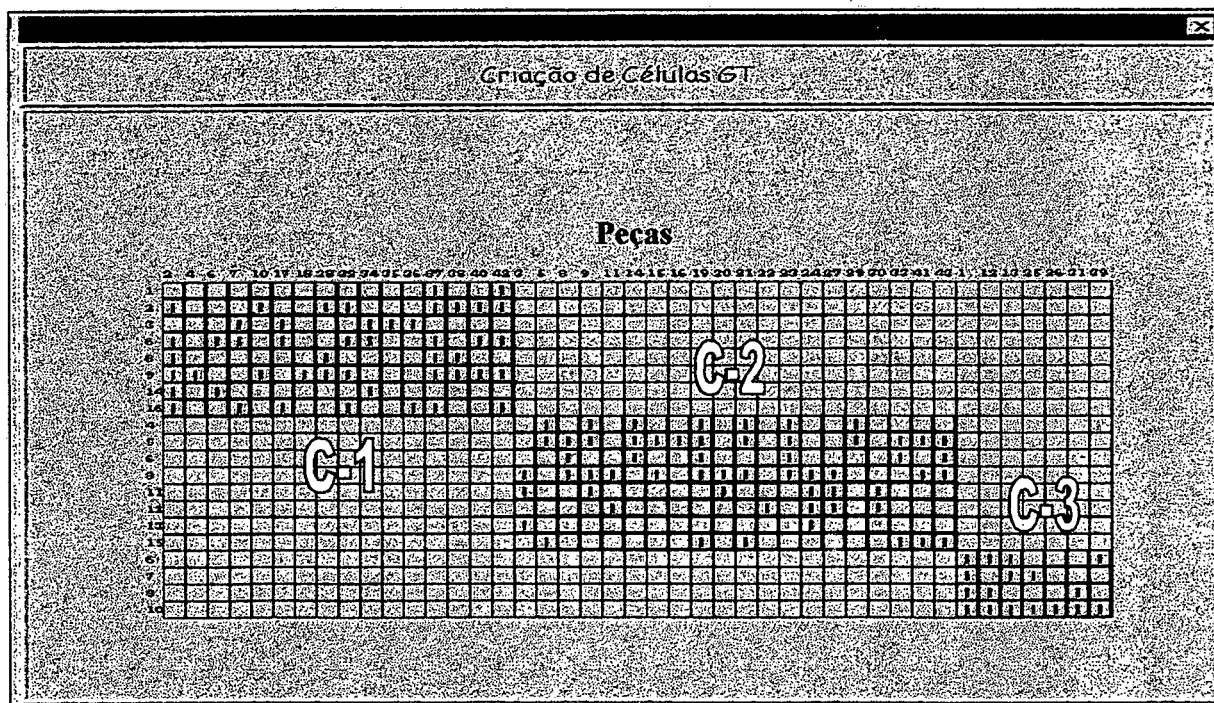


Figura 4.2 - Matriz de incidência com arranjo celular

Com base no resultado obtido, fez-se o arranjo final das máquinas em três células distintas e ainda acrescentou-se um FMS. Procurou-se distribuí-las de modo a simplificar o fluxo de materiais e diminuir a ociosidade, adotando um arranjo celular de modo a permitir um melhor acesso do operador [Hall, 1988].

Duas modificações foram feitas sobre o resultado obtido acima: a primeira consiste na incorporação das funções executadas pela máquina “1” como sendo as mesmas da máquina “9”, visto que ambas são fresadoras (ver tabela 4.1). Com isso, a máquina “1” será melhor aproveitada se deslocada para o arranjo “C-3”, onde passará a funcionar como se fosse a máquina “10”, que é uma furadeira altamente solicitada, melhorando assim o fluxo de produção, a qualidade e o rendimento das operações.

Tabela 4.1 – Relação das máquinas disponíveis no chão-de-fábrica

Código	Tipo	Nº - matriz incidência	Quantidade
PRE-211	Prensa	5	2
PRE-412			
PRE-120		2	1
PRE-130		3	1
PRE-340		7	1
FUR-211	Furadeira	15	2
FUR-412			
FUR-320		10	1
FUR-130		16	1
FUR-140		14	1
FRE-311	Fresadora	1	2
FRE-412			
FRE-120		9	1
FRE-230		4	1
FRE-340		13	1
TOR-210	Torno	11	1
TOR-121			
TOR-222			
TOR-323		6	4
TOR-424			
RET-111	Retificadora		
RET-212			
RET-313		8	4
RET-414			
RET-220		12	1
Total de Máquinas =			25

A segunda modificação se caracteriza pelo deslocamento da máquina “13” do arranjo “C-2” para o arranjo “C-3”. A causa do deslocamento se baseia na baixa incidência de peças da família “2” na máquina “13” (somente 2 peças). Assim, com a máquina “13” em sua nova posição, estas duas peças (isto é, “13” e “24”) ainda poderão ser fabricadas nela, pela facilidade de acesso e pela flexibilidade dos dispositivos de fixação. Além disto, a sua alta ociosidade quando da sua presença na produção de peças da família “2” é reduzida, ao mesmo tempo que ela passa a contribuir positivamente para a produção das peças da família “3”, assumindo as funções da máquina “10”, pelas mesmas razões supracitadas.

A figura 4.3 ilustra o leiaute adotado, que inclui 25 máquinas. O número que representa a máquina na matriz de incidência encontra-se no interior da área retangular correspondente ao espaço ocupado pela máquina, e ao lado do retângulo encontra-se o código associado a cada máquina.

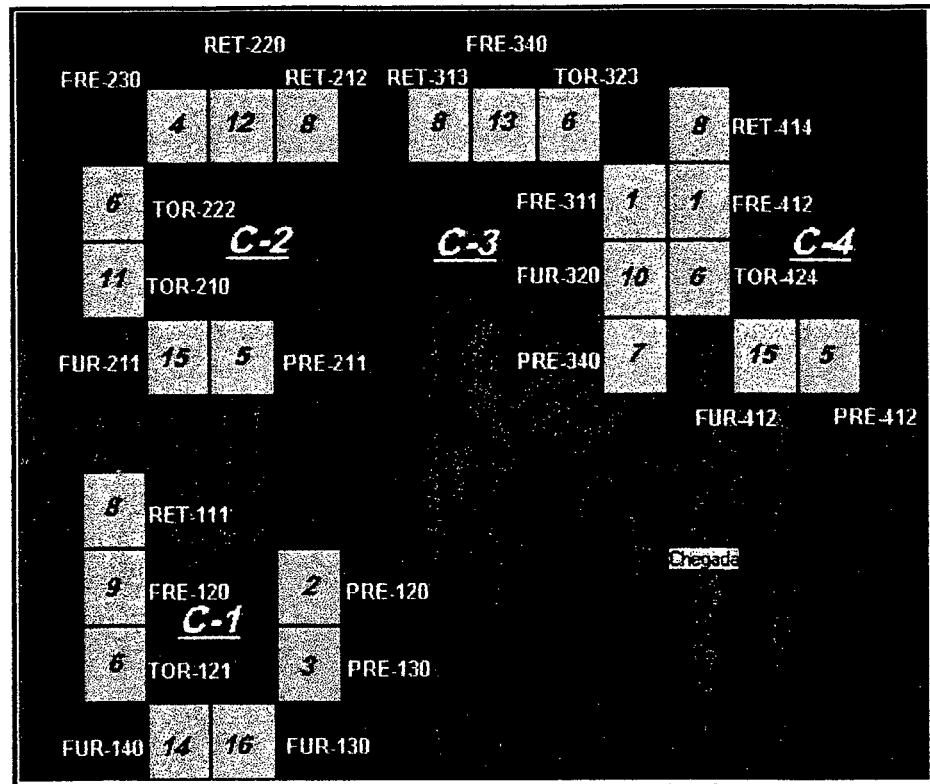


Figura 4.3 – Leiaute do chão-de-fábrica usado para testar o protótipo

Observa-se que 9 das 25 máquinas utilizadas correspondem a duplicações. As mesmas encontram-se dispostas em quatro arranjos distintos. Os três primeiros resultaram do módulo de criação e associação de famílias de peças a células de máquinas descrito acima. Este módulo também duplica as máquinas mais solicitadas, com o intuito de formar o arranjo. Assim, as máquinas “6” e “8” da matriz de incidência original foram triplicadas, resultando em 20 máquinas ao invés de 16. Além disto, outras cinco foram duplicadas, resultando em 25 máquinas. Foi também montado um FMS de forma a ser interligado com outro trabalho em desenvolvimento no GRIMA sob o título de “Uso da Simulação na Determinação de Estratégias de Tratamento de Filas em um Sistema Flexível de Manufatura”, patrocinado pelo CNPq/PIBIC.

Foi adotado um código de identificação de máquinas utilizando três letras e três números, para permitir a associação das mesmas. As letras caracterizam a classe funcional da máquina, podendo assumir PRE, FUR, TOR, FRE ou RET, correspondendo à prensa, furadeira, torno, fresadora e retificadora, respectivamente. O primeiro número identifica a célula à qual a máquina pertence. Os dois últimos números servem para caracterizar cada máquina dentro de sua classe

funcional. Dentro deste contexto, se o último número for zero significa que a máquina não foi duplicada, ou seja, ela é única. A tabela 4.1 apresenta as 25 máquinas com os respectivos códigos. A terceira coluna corresponde ao número da máquina associada na matriz de incidência da figura 4.1. Por fim, a quarta coluna representa a quantidade de máquinas idênticas associadas ao número da máquina da matriz de incidência, porém possuem códigos de identificação distintos representados na primeira coluna.

4.3 - ANÁLISE DE CUSTOS

Na busca tornar o estudo de caso mais próximo da realidade, buscou-se efetuar uma análise dos custos envolvidos na produção dos lotes. Foi implementado um sistema de custos utilizando princípios do critério ABC. Assim sendo, considera-se que a absorção do custo se faz pela utilização das atividades. Para isso, algumas atividades foram identificadas, a saber: Processamento; Manutenção; Ajustagem (Setup); Transporte; Fila; e Ociosidade ("não produção"). Na determinação dos indutores são considerados: o custo do investimento em instalações; o custo do recurso em si; as atividades de contribuição indireta; o custo da mão-de-obra necessária para o pronto emprego da fábrica; a energia elétrica a ser consumida; o material de consumo necessário; e a mão-de-obra direta utilizada.

Cabe ressaltar que o procedimento de determinação de indutores deve levar em conta as peculiaridades de cada empresa e que o conhecimento da sinergia interna é de grande importância. Como este trabalho não apresenta paralelo com empresa, segue um critério para estimar os indicadores, a fim de demonstrar e utilizar as potencialidades o procedimentos desenvolvidos no levantamento de custo utilizando a simulação.

Considera-se que o investimento nas instalações da fábrica orçam em torno de R\$ 1.667.938,33 e que este valor é depreciado ao longo de 25 anos. Assume-se também que a fábrica opera em 2 turnos, onde cada turno resulta em 1920 horas úteis por ano.

Assumindo a contribuição devido à depreciação de instalação de R\$ 17,37 por hora e a contribuição da área ocupada assumindo um valor de R\$ 0,69 por máquina a cada hora.

Baseado nas dimensões da fábrica, cuja área assume-se como sendo igual a 888,85 m², e assumindo um espaço reservado à fila antes de cada máquina igual a 2 m² assume-se o multiplicador associado ao tempo em fila que é de R\$ 0,039 por hora.

Os sistemas de transporte de peças utilizados são os seguintes: o lote de peças é transportado do almoxarifado até cada arranjo de máquinas por um AGV (*Automatic Guided Vehicle*); o deslocamento de cada peça entre máquinas é feito pelo operador da máquina; e

estando a peça concluída, o operador a coloca em uma esteira que a conduz até o depósito. Estimou-se em R\$ 15.000,00 o custo de investimento e o gasto com a esteira e com o AGV, a ser depreciado em 10 anos, o que resulta em uma parcela de contribuição horária de R\$ 0,78. Estima-se que do tempo total gasto em transporte, estes dispositivos contribuem com 66%, enquanto as atividades dos operadores contribuem com os outros 34%.

O custo total mensal de um operador é de R\$ 570,00, incluindo todos os encargos exigidos por lei, o que resulta em uma parcela de contribuição horária de R\$ 3,89, visto que as horas/ano trabalhadas reduzem-se de 1920 para 1760, considerando as férias anuais de direito. Assim, uma nova parcela horária relativa ao trânsito da peça na fábrica deve ser agregada, e aplicando uma média ponderada, tem-se o valor de R\$ 1,84 por hora, correspondendo ao multiplicador de horas em trânsito.

Para calcular a contribuição das atividades de Ociosidade, Processamento, Manutenção e Setup, alguns passos são seguidos, e os mesmos serão descritos utilizando como exemplo a máquina cujo código é PRE-211. Os resultados obtidos para todas as máquinas são mostrados na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Estudo dos indutores de custo por máquina

Máquina	Preço	Dep. Maq.	Dep. Inst.	MDI	Ociosidade	Energia-MDI	Processamento	MNT	Trânsito	SETUP
PRE-211	20000.00	0.52	0.69	5.17	6.38	2.69	9.07	7.58	1.84	9.25
PRE-412	20000.00	0.52	0.69	5.17	6.38	2.69	9.07	7.58	1.84	9.25
PRE-120	12000.00	0.31	0.69	3.10	4.10	1.61	5.71	4.82	1.84	5.82
PRE-130	15000.00	0.39	0.69	3.88	4.96	2.02	6.98	5.86	1.84	7.11
PRE-340	12000.00	0.31	0.69	3.10	4.10	1.61	5.71	4.82	1.84	5.82
FUR-211	18000.00	0.47	0.69	4.65	5.81	2.42	8.23	6.89	1.84	8.39
FUR-412	18000.00	0.47	0.69	4.65	5.81	2.42	8.23	6.89	1.84	8.39
FUR-320	10000.00	0.26	0.69	2.59	3.54	1.34	4.88	4.14	1.84	4.97
FUR-130	7000.00	0.18	0.69	1.81	2.68	0.94	3.62	3.10	1.84	3.68
FUR-140	9000.00	0.23	0.69	2.33	3.25	1.21	4.46	3.79	1.84	4.53
FRE-311	53000.00	1.38	0.69	13.70	15.77	7.12	22.89	18.96	1.84	23.37
FRE-412	53000.00	1.38	0.69	13.70	15.77	7.12	22.89	18.96	1.84	23.37
FRE-120	47000.00	1.22	0.69	12.15	14.06	6.32	20.38	16.89	1.84	20.79
FRE-230	42000.00	1.09	0.69	10.86	12.64	5.64	18.28	15.17	1.84	18.66
FRE-340	20000.00	0.52	0.69	5.17	6.38	2.69	9.07	7.58	1.84	9.25
TOR-210	47000.00	1.22	0.69	12.15	14.06	6.32	20.38	16.89	1.84	20.79
TOR-121	52000.00	1.35	0.69	13.45	15.49	6.99	22.48	18.62	1.84	22.94
TOR-222	52000.00	1.35	0.69	13.45	15.49	6.99	22.48	18.62	1.84	22.94
TOR-323	52000.00	1.35	0.69	13.45	15.49	6.99	22.48	18.62	1.84	22.94
TOR-424	52000.00	1.35	0.69	13.45	15.49	6.99	22.48	18.62	1.84	22.94
RET-111	70000.00	1.82	0.69	18.10	20.61	9.41	30.02	24.83	1.84	30.64
RET-212	70000.00	1.82	0.69	18.10	20.61	9.41	30.02	24.83	1.84	30.64
RET-313	70000.00	1.82	0.69	18.10	20.61	9.41	30.02	24.83	1.84	30.64
RET-414	70000.00	1.82	0.69	18.10	20.61	9.41	30.02	24.83	1.84	30.64
RET-220	29000.00	0.76	0.69	7.50	8.95	3.90	12.85	10.70	1.84	13.11

O primeiro passo consiste em obter o preço de cada máquina envolvida, que para a prensa PRE-211 é de R\$ 20.000,00. Esta máquina sofre uma depreciação ao longo do tempo e o valor

do investimento deve ser amortizado ao longo da vida da mesma, que foi estipulada em 10 anos de serviço efetivo, sendo que a cada ano tem-se 3840 horas úteis. Com isso a contribuição horária devida à depreciação é igual a R\$ 2,60 por hora trabalhada.

O segundo passo corresponde ao cálculo do custo mensal com a folha de pagamento da mão-de-obra indireta, bem como das despesas administrativas e outros custos necessários que independem da produção, tal como segurança e vendas. Considerando um gasto anual total com estas atividades, igual a R\$ 913.501,08, tem-se uma contribuição horária de R\$ 237,89, que é distribuída proporcionalmente às máquinas conforme o preço de cada uma. Este procedimento é uma forma simplificada de rateio. Entretanto, pretende-se em trabalhos futuros determinar-se os indutores de custos, baseados em um estudo mais aprofundado da estrutura de uma empresa real, que fornecerá uma quantidade bem elevada de detalhes. Para o presente exemplo, o valor horário atribuído à máquina PRE-211 (coluna "MOI" na tabela 4.2) é de R\$ 5,17 por hora.

4.3.1 - Cálculo do custo devido à Ociosidade

Com os valores determinados até aqui, é possível calcular o custo de ociosidade, o qual é feito através do somatório das parcelas relativas à depreciação da máquina, à mão-de-obra indireta e à depreciação das instalações, obtendo-se assim o valor de R\$ 6,39 por hora, a ser agregado ao custo total, por hora de ociosidade desta máquina. Cabe ressaltar que o critério adotado para o cálculo da ociosidade pode variar dependendo da empresa, e esta análise pode ser feita em estudos futuros.

O próximo passo consiste em calcular a contribuição devida à energia elétrica consumida, ao material de consumo necessário, e à mão-de-obra direta utilizada. Quanto à energia elétrica o correto seria verificar a potência de cada máquina, sendo este o critério de rateio, enquanto que para o material de consumo seria necessária uma consulta à documentação referente a cada máquina, da qual este valor seria extraído. Como estas informações não estão disponíveis devido ao caráter teórico do estudo de caso, adotou-se um rateio proporcional ao preço de cada máquina. O valor total estimado destes gastos são de R\$ 78.782,98 a cada ano, resultando em um valor de R\$ 20,52 por hora, considerando 3840 horas por ano.

O custo da mão-de-obra direta mais os encargos sociais é de R\$ 363.044,04 por ano. Assim resulta em um valor de R\$ 103,14 por hora, considerando 3520 horas por ano, pois deve-se descontar o mês de férias não trabalhado. O critério de rateio é aplicado conforme o preço da máquina; porém seria importante um estudo mais aprofundado para verificar-se a quantidade de

máquinas que são operadas simultaneamente e a parcela de tempo dedicada a cada uma delas. Para o caso da máquina prensa PRE-211 tem-se uma parcela de R\$ 2,69.

4.3.2 - Cálculo do custo de Processamento

Para o cálculo do custo de processamento são somadas as parcelas relativas à depreciação de máquina, à depreciação das instalações, à mão-de-obra indireta, à energia, ao material de consumo e à mão-de-obra direta. Isto é o mesmo que o custo de ociosidade somado à parcela relativa à energia, ao material de consumo e à mão-de-obra direta. Com isto o custo de processamento da máquina PRE-211 é de R\$ 9,08 por hora.

4.3.3 - Cálculo do custo de Manutenção

A fábrica possui cinco equipes de manutenção compostas por pessoas com conhecimentos diversos, que recebem remuneração de acordo com o nível de conhecimento. Supondo, que o grau de conhecimento necessário para realizar a manutenção de cada máquina seja proporcional à complexidade da mesma, e esta por sua vez proporcional ao seu custo, adotou-se um rateio proporcional ao preço de cada máquina. Num estudo real consultar-se-ia a documentação da máquina visando obter o tempo destinado à manutenção, bem como a equipe envolvida. No que tange ao custo das possíveis peças de reposição, que para o estudo atual foi considerado em média um valor de R\$ 46.028,42 por ano, sendo dividido por 3840 horas, resultando em um valor de contribuição de R\$ 11,99 por hora.

Assumindo também um gasto anual de R\$ 152.839,30 com mão-de-obra de manutenção, sendo divididas em 3520 horas homem de trabalho efetivo, isto resulta numa contribuição de R\$ 43,42 por hora, distribuída pelas máquinas proporcional ao seu preço de aquisição. A estas parcelas deve ainda ser somado o custo de ociosidade, visto que enquanto em manutenção a máquina encontra-se parada. Assim sendo, para a máquina PRE-211 a parcela relativa ao custo de manutenção é de R\$ 7,59.

4.3.4 - Cálculo do custo de Setup

O último custo a ser agregado por hora refere-se ao ajuste da máquina para o processamento de um determinado tipo de peça, ou setup, que é obtido pela soma de três

parcelas: a do custo de ociosidade; a do custo do pessoal envolvido no setup; e a do valor referente à depreciação dos dispositivos de fixação e dos porta-ferramentas. Pela inexistência de dados a última parcela foi estimada em 20% do preço da depreciação máquina. Assumindo que a máquina é ajustada pelos seus próprios operadores, essa parcela é igual à da mão-de-obra direta, pois caso contrário os mesmos ficariam ociosos. Assim sendo, procedendo os cálculos tem-se para a prensa PRE-211 o valor de R\$ 9,25.

4.4 - ATRIBUTOS DA PEÇA

A peça escolhida para demonstrar a potencialidade do protótipo é representada pelo número “37” na matriz de incidência, pertencente à família “1”, sendo processada no arranjo “C-1”, nas máquinas “2”, “6”, “8”, “9” e “16” (isto é, máquinas PRE-120, TOR-121, RET-111, FRE-120 e FUR-130, respectivamente). Os roteamentos principal e alternativos são mostrados na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Roteamentos principal e alternativos

Roteamento				
Principal	Alternativo de N°			
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
PRE-120	PRE-130	PRE-211	PRE-340	-
TOR-121	TOR-210	TOR-222	-	-
FRE-120	-	-	-	-
FUR-130	FUR-140	-	-	-
RET-111	RET-212	RET-313	RET-414	RET-220

O roteamento principal é o seguinte: PRE-120, TOR-121, FRE-120, FUR-130 e RET-111. Em caso de quebra de umas destas máquinas são previstas outras máquinas que funcionam como máquinas alternativas, exceto para o terceiro processo que só possui a FRE-120 como máquina disponibilizada. A previsão de se utilizar máquinas alternativas se faz para evitar uma grande descontinuidade no fluxo da produção, porém a máquina alternativa deverá ser devidamente ajustada para que fique apta ao processamento da peça em questão, quando ela for chamada para processar as peças no caso de quebra da máquina principal. É fato, que não é desejável que as máquinas quebrem, e quando se tem quebras deve-se buscar a causa para evitá-las no futuro, entretanto o sistema desenvolvido permite a inclusão e análise da possibilidade dessas quebras, até mesmo para justificar uma intensificação da manutenção que as evite, além do que a possibilidade estatística de quebra é real em qualquer tipo de equipamento.

O próximo passo consiste em definir os tempos de processamento e de setup. Estes dados deveriam ser fruto do módulo de planejamento de processos, entretanto pela ausência do mesmo tais tempos foram estimados.

Para preencher devidamente as lacunas correspondentes ao tempo entre quebras, e aquele necessário à manutenção em caso de quebra das máquinas disponibilizadas, dever-se-ia buscar informações em históricos anteriores sobre cada uma delas. Com estes dados seria possível utilizar o módulo analisador de dados para a simulação, que retornaria a distribuição aleatória de melhor aderência, incorporando o comportamento aleatório ao modelo. No presente trabalho estas distribuições também foram estimadas, sendo que desta vez pela ausência do módulo de monitoração e controle dos recursos.

A tabela 4.4 mostra os tempos de processamento, de setup, entre quebras e de manutenção, estando estes expressos em segundos, para as máquinas previstas nos roteamentos principal e alternativos da tabela 4.3.

Tabela 4.4 – Distribuição aleatória dos tempos das máquinas envolvidas

Máquinas	Distribuição Aleatória de Tempo (segundos)			
	<i>Processamento</i>	<i>Setup</i>	<i>Entre quebras</i>	<i>Manutenção</i>
PRE-120	Norm(10 , 2)	Norm(3000, 100)	Expo(62000)	Tria(600, 18600, 57600)
PRE-130	Norm(12 , 2)	Norm(3660, 120)	Expo(65000)	Tria(500, 15000, 50000)
PRE-211	Norm(14 , 2)	Norm(3200, 123)	Expo(80000)	Tria(660, 19500, 62000)
PRE-340	Norm(15 , 2)	Norm(3100, 130)	Expo(73000)	Tria(640, 16500, 55000)
TOR-121	Norm(100 , 10)	Norm(1800, 100)	Expo(65000)	Tria(3600, 10000, 20000)
TOR-210	Norm(123 , 15)	Norm(2000, 89)	Expo(55000)	Tria(4000, 12000, 22000)
TOR-222	Norm(100 , 10)	Norm(1800, 100)	Expo(65000)	Tria(3600, 10000, 20000)
FRE-120	Norm(90 , 12)	Norm(1500, 75)	Expo(78000)	Tria(1300, 10500, 14000)
FUR-130	Norm(30 , 5)	Norm(800, 100)	Expo(45000)	Tria(1600, 3600, 9400)
FUR-140	Norm(40 , 8)	Norm(900, 96)	Expo(50000)	Tria(1500, 3000, 8000)
RET-111	Norm(300 , 31)	Norm(3300, 130)	Expo(160000)	Tria(1800, 10800, 18000)
RET-212	Norm(300 , 31)	Norm(3300, 130)	Expo(160000)	Tria(1800, 10800, 18000)
RET-313	Norm(300 , 31)	Norm(3300, 130)	Expo(160000)	Tria(1800, 10800, 18000)
RET-414	Norm(300 , 31)	Norm(3300, 130)	Expo(160000)	Tria(1800, 10800, 18000)
RET-220	Norm(400 , 39)	Norm(3900, 150)	Expo(100000)	Tria(3000, 13000, 21000)

As distribuições escolhidas para representar a aleatoriedade foram a exponencial para o caso de quebras; a triangular, para a manutenção da quebra; e a normal, para os demais. Com os dados devidamente introduzidos pode-se dar início a uma série de análises, e algumas destas são expostas no próximo item.

4.5 - ANÁLISE DA ROBUSTEZ DO SISTEMA DE FABRICAÇÃO

Dentre diversos tipos de análise passíveis de serem feitas, a análise da robustez do sistema de fabricação ganha destaque, pois através dela promove-se um aumento da competitividade dos produtos fabricados em relação a outros similares. Para efetuar-se esta análise, utiliza-se o custo e o tempo total de fabricação como variáveis de controle, que proporcionam subsídios para a comparação entre diversas alterações, passíveis de serem simuladas.

Um dos fatores que podem ser variados é o tamanho do lote. É interessante verificar como o custo médio por peça se comporta conforme a variação do tamanho do lote. Com o apoio do protótipo desenvolvido, faz-se a seguir uma análise da influência do tamanho do lote no custo final de cada peça.

São feitas 10 análises para lotes de tamanhos distintos, onde o inicial é de 75 unidades, sendo que os demais têm o número de peças aumentado segundo uma progressão aritmética de razão 25. Com isto, o primeiro possui 75, o segundo 100, e assim sucessivamente até o último, que é composto por 300 peças. Assim, é possível observar a evolução das variáveis de controle em função do tamanho do lote, e os resultados obtidos encontram-se na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Resultados obtidos mostrando a influência do tamanho do lote sobre as variáveis de controle

Tamanho do Lote (peça)	Custo Total de Fabricação (R\$)	Custo Médio por Peça (R\$)	Tempo Total Necessário à Fabricação (segundos)
75	826,14	11,02	34995
100	1043,04	10,43	46116
125	1197,93	9,58	55108
150	1483,38	9,89	65544
175	1752,23	10,01	75209
200	1874,50	9,37	84119
225	2133,22	9,48	96086
250	2248,06	8,99	101608
275	2706,11	9,84	114569
300	2650,03	8,83	124589

Analisando os resultados obtidos para o cenário simulado, percebe-se que o custo unitário não varia muito com o aumento do tamanho do lote, pois o sistema de custos utilizado é bastante consistente e abrangente. Em análises convencionais o custo unitário teria uma queda significativa com o aumento do tamanho do lote, pois o custo de setup seria melhor distribuído. Neste caso também o é, entretanto, outros fatores são agregados e não deixam o custo unitário

cair tão significativamente, tais como o custo devido à manutenção, e o custo de alocação de uma máquina alternativa. Ao se utilizar das máquinas alternativas, um ônus a mais é agregado, pois interfere-se na disponibilidade desta máquina para processar outros tipos de peças, e assim o lote destas não pode ser penalizado em custo. Esta penalização recai como ônus sobre o lote motivante da alocação. Cabe ressaltar, que para cada sistema de fabricação e para cada sistema de custo adotado por cada empresa, modelos de simulações distintos serão gerados podendo inclusive levar a conclusões distintas.

Outra consideração interessante para o modelo simulado, é que o custo da quebra não é agregado sobre um único lote, e são feitas pelo menos sete replicações de onde são extraídos a média e o intervalo de confiança para o mesmo. O custo da quebra é importante, uma vez que ele pode influenciar a decisão referente aos prazos de entrega acordados com o cliente. Isto é, se vale mais esperar que a manutenção da máquina se efetive, ou se é mais conveniente a utilização das máquinas alternativas, que agregará o ônus da perda da disponibilidade desta, para o processamento de outro lote distinto em processo. Esta situação é verificada a seguir mediante o auxílio da simulação.

Este exemplo consiste numa rodada para três lotes de tamanhos distintos (isto é, 100, 200 e 300 peças) sem a utilização das máquinas alternativas, ou seja, caso ocorra a quebra da máquina principal, a produção neste ponto fica interrompida até que a manutenção da mesma seja concluída. Com isto, ocorrem dois fatos devido à não disponibilização de máquinas alternativas:

- (a) não há agregação do ônus devido à alocação da máquina alternativa e do respectivo ajuste da mesma, a fim de processar o tipo de peça em questão, sendo que este fato contribui positivamente para a diminuição do custo total de fabricação.
- (b) há o aumento do tempo necessário para a fabricação do lote, acarretando o aumento das parcelas de custo devido à ociosidade de todas as máquinas da célula, principalmente àquelas que sucedem no roteamento à máquina quebrada, as quais ficaram paradas até a conclusão da manutenção. Haverá também, um aumento da parcela de custo devido ao estoque intermediário criado, pois estando as peças estacionadas em um local afim, agregam custo de alocação deste espaço.

Assim, surgem contribuições que aumentam ou diminuem o custo, e executa-se a simulação a fim de determinar qual das contribuições, negativa ou positiva, possui maior peso.

Como resultado da simulação, no caso de não utilizar-se máquinas alternativas, o protótipo fornece os resultados mostrados na tabela 4.6. É possível verificar que nesse caso há

um aumento tanto do custo quanto do tempo total de fabricação para os três lotes simulados. Observa-se para o lote de 300 peças que há um aumento de 2,0% no custo médio por peça, e de 5,9% no tempo total necessário à fabricação do lote, pela não utilização de roteamentos alternativos. Logo, conclui-se que para o estudo de caso proposto, a previsão e utilização das máquinas alternativas em caso de quebra resulta em aumento da robustez do produto.

Tabela 4.6 – Resultado das variáveis de controle sem máquinas alternativas

Tamanho do Lote (peça)	Custo Total de Fabricação (R\$)	Custo Médio por Peça (R\$)	Tempo Total Necessário à Fabricação (segundos)
100	1058,69	10,59 (aumento de 1,5%)	49067 (aumento de 6,4%)
200	1883,39	9,42 (aumento de 0,5%)	88329 (aumento de 5,0%)
300	2702,45	9,01 (aumento de 2,0%)	131962 (aumento de 5,9%)

É possível notar o caráter dinâmico do processo decisório, que pode oscilar entre muitas soluções, proporcionando estratégias peculiares para atender a cada uma delas. Outro ponto a ressaltar, é que o monitoramento da situação atual do chão-de-fábrica é fundamental. Baseado no estado dos recursos, a simulação poderá ser inicializada tendo o momento atual como ponto de partida, podendo-se projetar o momento mais adequado para ser dada a ordem de fabricação do novo lote, de modo a obedecer os prazos estabelecidos junto aos clientes. Assim, busca-se produzir o lote dentro do prazo e com um melhor aproveitamento dos recursos, pela diminuição da parcela agregada devido à ociosidade.

4.6 - ESTIMATIVA DO PRAZO DE PRODUÇÃO DE LOTE COM PRIORIDADE

Outro fator interessante que pode ser explorado é a potencialidade do protótipo como ferramenta de auxílio ao setor de vendas. Para isto, imagina-se um cenário fictício, em que num dado instante, surge um cliente que vem consultar este setor, sobre a possibilidade de antecipar a entrega e aumentar o tamanho de um determinado lote previamente agendado. Este cliente utiliza cada peça encomendada anteriormente como componente na montagem de um conjunto

Esta antecipação é motivada pela tendência de aumento da demanda no mercado regional. O pronto fornecimento visando atender ao aumento de demanda é estratégico, de modo a manter o domínio da parcela conquistada junto ao mercado alvo. Para isto, o cliente deseja saber quão flexível seu fornecedor pode ser do ponto de vista de tempo e volume de produção.

A utilização do protótipo pode servir como ferramenta bastante útil neste cenário, tendo a priorização de um determinado lote como razão estratégica. Como ponto de partida para o

procedimento de análise, atribui-se uma maior prioridade ao lote e aumenta-se o tamanho do lote de 100 para 175 peças, inserindo-o o mais brevemente possível. Este aumento ainda está aquém do necessário, uma vez que para atender completamente a demanda do mercado, estima-se um valor de 300 unidades. Executando-se a simulação, obtém-se o tempo total necessário para a fabricação do lote original como sendo igual a 46116 segundos, ou 12,8 horas, a um custo de R\$ 1043,04.

Aumentando-se o tamanho do lote para 175 peças, faz-se uma nova simulação que resulta no tempo total necessário para a fabricação do lote, o valor de 84119 segundos, ou 23,3 horas a um custo de R\$ 1752,23. O tempo obtido ainda está além do desejado pelo cliente (isto é, 16 horas), caracterizando um dia de produção efetiva da fábrica. Assim, uma nova estratégia de produção deve ser montada, de modo a atender às necessidades do cliente e imprimir um maior nível de parceria fornecedor/cliente.

Analisando-se os resultados de simulações registrados na tabela 4.5, pode-se determinar em que intervalo está contido o tempo fornecido pelo cliente (isto é, 57600 segundos). Com isso, o intervalo a que este tempo pertence é aquele associado aos lotes de 125 a 150. Então, executa-se uma nova rodada de simulação para um lote de 130 peças, obtendo-se um tempo necessário à fabricação de 57048 segundos a um custo médio por peça de R\$ 9,53. Essa solução satisfaz a imposição de tempo fornecida pelo cliente, entretanto ainda está aquém da quantidade mínima de peças necessária, que é de 175.

Com o intuito de aumentar o número de peças passíveis de serem produzidas dentro do tempo imposto pelo cliente, um novo roteamento distinto do primeiro deve ser planejado. Analisando os resultados fornecidos pelo protótipo para a simulação das 130 peças, é possível identificar dentre as máquinas alternativas qual delas efetivamente participam da produção, ou seja, algumas máquinas mesmo sendo previstas como alternativas, não foram alocadas, face ao valor das distribuições que representam o comportamento das máquinas. Assim, podem ser feitos remanejamentos das máquinas utilizadas em busca de um novo planejamento, que venha produzir um determinado número de peças em paralelo. Tal leiaute está longe de ter o mesmo nível de desempenho do original, e embora esteja aquém da eficácia da produção principal, pode vir a tornar-se uma opção na busca de se aumentar o número total de peças produzidas dentro do tempo estabelecido, e esta situação merece uma análise utilizando-se a ferramenta de simulação.

A tabela 4.7 mostra o novo planejamento principal da produção e o planejamento secundário, o qual servirá de resposta ao caso em questão.

Tabela 4.7 – Novo cenário de roteamentos principal e secundário

Planejamento Principal				
Roteamento				
Principal	Alternativo de N°			
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
PRE-120	PRE-130	-	-	-
TOR-121	TOR-210	-	-	-
FRE-120	-	-	-	-
FUR-130	FUR-140	-	-	-
RET-111	RET-212	RET-414	-	-
Planejamento Secundário				
Roteamento				
Principal	Alternativo de N°			
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
PRE-340	PRE-211	-	-	-
TOR-323	TOR-222	-	-	-
FRE-311	-	-	-	-
FUR-320	FUR-211	-	-	-
RET-313	RET-220	-	-	-

Com essa nova estratégia, diminui-se um pouco a flexibilidade do planejamento original (mostrado na tabela 4.5), pois o número de máquinas alternativas é reduzido para a criação de um planejamento secundário, que irá processar outro lote do mesmo tipo, porém composto por um menor número de peças. Assim, três novas máquinas são agendadas, que são a FRE-311, a FUR-320 e a FUR211. Estas não processam de maneira tão eficaz como as previstas anteriormente, entretanto constitui uma opção para o problema em questão. Os tempos associados a estas máquinas, bem como às demais que compõem a nova estratégia encontram-se na tabela 4.8.

Outro fator que deve ser observado é que as máquinas do roteamento principal do planejamento alternativo pertencem à célula “C-2”. Assim sendo, tem-se as células “C-1” e “C-2” operando em paralelo de modo a cumprir uma meta estabelecida que constitui em obter-se o maior número de peças dentro de um intervalo de tempo preestabelecido. Apesar da célula “C-2” ter sido montada originalmente para processar peças da família 2, e a peça em questão pertencer à família 1, nota-se que existe duplicação de recursos, sendo então possível encontrar algumas

máquinas iguais em ambas as células, o que possibilita o processamento destas peças em casos extremos.

Tabela 4.8 – Distribuição aleatória dos tempos para o planejamento principal e secundário

Planejamento Principal				
Máquinas	Distribuição Aleatória de Tempo			
	<i>Processamento</i>	<i>Setup</i>	<i>Entre quebras</i>	<i>Manutenção</i>
PRE-120	Norm(10 , 2)	Norm(3000, 100)	Expo(62000)	Tria(600, 18600, 57600)
PRE-130	Norm(12 , 2)	Norm(3660, 120)	Expo(65000)	Tria(500, 15000, 50000)
TOR-121	Norm(100 , 10)	Norm(1800, 100)	Expo(65000)	Tria(3600, 10000, 20000)
TOR-210	Norm(123 , 15)	Norm(2000, 89)	Expo(55000)	Tria(4000, 12000, 22000)
FRE-120	Norm(90 , 12)	Norm(1500, 75)	Expo(78000)	Tria(1300, 10500, 14000)
FUR-130	Norm(30 , 5)	Norm(800, 100)	Expo(45000)	Tria(1600, 3600, 9400)
FUR-140	Norm(40 , 8)	Norm(900, 96)	Expo(50000)	Tria(1500, 3000, 8000)
RET-111	Norm(300 , 31)	Norm(3300, 130)	Expo(160000)	Tria(1800, 10800, 18000)
RET-212	Norm(300 , 31)	Norm(3300, 130)	Expo(160000)	Tria(1800, 10800, 18000)
RET-414	Norm(300 , 31)	Norm(3300, 130)	Expo(160000)	Tria(1800, 10800, 18000)
Planejamento Secundário				
Máquinas	Distribuição Aleatória de Tempo			
	<i>Processamento</i>	<i>Setup</i>	<i>Entre quebras</i>	<i>Manutenção</i>
PRE-340	Norm(15 , 2)	Norm(3100, 130)	Expo(73000)	Tria(640, 16500, 55000)
PRE-211	Norm(14 , 2)	Norm(3200, 123)	Expo(80000)	Tria(660, 19500, 62000)
TOR-323	Norm(100 , 10)	Norm(1800, 100)	Expo(65000)	Tria(3600, 10000, 20000)
TOR-222	Norm(100 , 10)	Norm(1800, 100)	Expo(65000)	Tria(3600, 10000, 20000)
FRE-311	Norm(129 , 10)	Norm(1600, 75)	Expo(98000)	Tria(1300, 9500, 13000)
FUR-320	Norm(37 , 5)	Norm(750, 100)	Expo(49000)	Tria(1600, 3000, 6400)
FUR-211	Norm(45 , 8)	Norm(700, 96)	Expo(59000)	Tria(1500, 2000, 5000)
RET-313	Norm(300 , 31)	Norm(3300, 130)	Expo(160000)	Tria(1800, 10800, 18000)
RET-220	Norm(400 , 39)	Norm(3900, 150)	Expo(100000)	Tria(3000, 13000, 21000)

Executando a simulação para o planejamento principal mostrado na tabela 4.7, observou-se um pequeno acréscimo no tempo total de fabricação devido ao remanejamento das máquinas alternativas. Assim, para uma produção de 120 unidades, obteve-se um tempo mais provável de 53497 segundos, ou 14,9 horas, a um custo de R\$9,76. A simulação para o planejamento secundário retornou um lote de 100 peças em um tempo mais provável de 52619 segundos, ou 14,6 horas, a um custo médio por peça de R\$ 11,05 que satisfaz a imposição de prazo estabelecido pelo cliente.

Com a utilização do protótipo é possível simular em poucos minutos diferentes arranjos de modo a obter-se uma estratégia que responda eficazmente ao cenário em questão. A solução obtida é constituída pela divisão do lote total fornecido em dois, onde o primeiro é composto por 120 peças e o segundo por 100 peças. Para esta estratégia de produção é possível garantir o fornecimento de um lote resultante de 220 peças dentro do tempo exigido a um custo médio unitário de R\$ 10,35, agregando uma confiança estatística à informação fornecida ao cliente.

Pode ser feita uma outra análise que tem como objetivo melhorar o balanceamento do gargalo de produção dentro da célula. Assim, para o caso em questão tem-se a máquina RET-111 como gargalo. É possível utilizar a máquina RET-212 também como máquina principal, de modo a duplicar os meios de produção deste processo. A versão atual do protótipo não permite desviar uma única produção para duas máquinas distintas. Assim, para analisar o balanceamento das células, é importante o desenvolvimento futuro de procedimentos que permitam dividir a produção em um ou mais máquinas. Além disto, tal análise poderia levar a um aumento da produtividade, e também reduzir o custo de ociosidade agregado ao lote devido ao desbalanceamento embutido.

O caso estudado neste item caracteriza a intenção de tornar a fábrica flexível, ou seja, explorando as potencialidades das máquinas de modo a absorver com um efetivo reduzido flutuações quantitativas e/ou qualitativas da demanda [Coriat, 1994].

É imprescindível ressaltar que o protótipo não é um otimizador. Constitui-se somente em uma ferramenta que auxilia o analista na análise de várias estratégias. A otimização fica por conta do analista, que deverá ter criatividade suficiente para montar diversos cenários alternativos, servindo-se do protótipo como forma segura de constatação da estratégia em potencial, permitindo compará-las na busca pela melhor dentre as pesquisadas. É conveniente ressaltar que a máquina (nesse caso o computador) ainda funciona como agente amplificador das potencialidades do ser humano, restando a este o legado da criação. Na atualidade o caráter inventivo deste é insubstituível e vem de encontro a promover uma evolução contínua dos diversos sistemas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO E FUTUROS TRABALHOS

A dissertação desenvolvida buscou mostrar a importância de se integrar vários conceitos, tais como: sistemas de manufatura; métodos estatísticos; simulação de sistemas discretos; tecnologia de grupo; planejamento da produção; sistemas de custos; entre outros, que devidamente auxiliados pelos recursos computacionais, conduzem a ferramentas com alto potencial de utilização pela indústria brasileira.

No que tange à integração mencionada, chegou-se a um protótipo simples porém inovador. Um dos principais obstáculos para a montagem do estudo de caso apresentado no capítulo 4 foi a inexistência de trabalhos anteriores envolvendo a integração dos conceitos supracitados, que retornassem simultaneamente resultados em termos de tempos e custos, associados a uma confiabilidade estatística e a atributos do chão-de-fábrica.

Acredita-se que a simulação seja uma ferramenta que tende a ser cada dia mais utilizada pelas empresas. Dentre as vantagens de se utilizar a simulação, pode-se citar que uma vez criado um modelo representativo do chão-de-fábrica, inúmeras avaliações de diferentes propostas podem ser analisadas, sendo feitas com um número mínimo de simplificações. Isto pode ser feito porque os modelos de simulação permitem a análise de praticamente qualquer medida concebível, ao contrário dos modelos analíticos. A simulação também permite identificar os recursos mais solicitados no sistema a fim de atuar sobre os mesmos de modo a obter melhor produtividade.

Ao adotar a simulação como ferramenta de suporte à tomada de decisão, a empresa tem muito a ganhar do ponto de vista de eficiência, pois poderá prever e prover adequadamente as necessidades dos recursos, colaborando assim para o aumento do nível de confiabilidade tanto em prazo de entrega quanto em qualidade do produto. A simulação também aumenta a eficácia da empresa, pois ela poderá detectar e diminuir os desperdícios, aumentando a margem de lucro.

A abordagem proposta visa eliminar algumas desvantagens que são normalmente atribuídas à simulação, dentre as quais incluem-se: a necessidade de treinamento especial para elaboração do modelo; a dificuldade de interpretação dos resultados da simulação. Com isso, é

possível obter a diminuição do tempo envolvido em todas as etapas da simulação, além de promover a integração de outros conceitos.

O desenvolvimento de um programa de simulação que analise o desempenho global da empresa, incluindo agendamentos de ordens de serviço e monitoração dinâmica do estado dos recursos, traria muitos benefícios à empresa. O trabalho desenvolvido representa os passos iniciais rumo a este objetivo. Entretanto é preciso salientar que o desenvolvimento de um software genérico é muito mais complicado que o desenvolvimento de um específico, voltado a uma empresa em particular.

A empresa simulada no estudo de caso é baseada em dados clássicos de uma produção encontrada na literatura [Burbidge, 1988], apesar de não serem fornecidos naquela referência dados de tempos, nem de custos. O protótipo foi implementado para esse caso específico, a fim de obter-se um produto capaz de ser utilizado como exemplo demonstrativo das vantagens da aplicação e do domínio da técnica de simulação.

Como forma de fundamentar a potencialidade de softwares integrados de simulação, e constatar a sua contribuição positiva para a empresa, segue uma análise baseada na necessidade de evolução da indústria. Os efeitos da globalização têm surgido com intensidade cada vez maior, e com isso o administrador de empresas atento percebe a necessidade da evolução institucional. Restam poucas opções: ou cria-se um centro de pesquisa próprio, o que nem sempre é possível face às limitações de caixa; ou associa-se a indústrias que possuam um centro de pesquisa, o que é difícil devido à escassa quantidade daquelas que possuem um centro que seja adequado às necessidades de terceiros; ou, finalmente, busca-se as universidades.

Acredita-se que um dos principais papéis da universidade seja o de fornecer uma base de sustentação ao parque fabril, funcionando como um centro de pesquisa integrado à realidade industrial. Entretanto, este processo de integração universidade/indústria é lento e gradual, pois a conquista da confiança mútua é muitas vezes dificultada pelo fator humano. Porém, as rápidas mudanças ocorridas no contexto mundial, face aos avanços tecnológicos, colaboram para o surgimento de cenários competitivos cada vez mais agressivos, aumentando ainda mais a preocupação por parte das indústrias em melhorar continuamente seus métodos e processos.

Vale ressaltar que existe uma verdadeira guerra em busca de fatias de mercado; e em uma guerra é necessário juntar esforços em prol da auto-sobrevivência. Quanto mais cedo houver a consciência deste fato por parte das comunidades industrial e acadêmica, mais chances de sobrevivência existirá para ambas, pois estas comunidades, queiram elas ou não, são dependentes e complementares.

A sobrevivência é mais do que apenas uma decisão sobre investimento. O lucro pode ser a meta dos capitalistas, mas a sobrevivência interessa a mais pessoas além dos investidores, ou seja, também estão comprometidos os fornecedores, empregados, governo e comunidades. Portanto, é fundamental para a prosperidade do Brasil que os dirigentes de indústrias e universidades possuam uma visão holística.

Com base nas constatações supracitadas e nos estudos realizados no capítulo 4, é possível salientar que a ferramenta proposta apresenta potencial de utilização, ou seja, qualitativamente buscou-se demonstrar a contribuição positiva da implementação do protótipo em um ambiente fabril. Entretanto, é importante fazer uma análise quantitativa do potencial do SIMES-DIN, e tal análise só será feita mediante o confronto dos seus resultados com aqueles oriundos de uma situação real. O protótipo desenvolvido pode ser apresentado a empresas de fabricação com características multiprodutoras, com o intuito de formalizar uma parceria universidade/indústria para implantação piloto do protótipo acadêmico, que com as devidas adaptações, poderá ser inserido em um cenário real.

No estágio atual de desenvolvimento, que ainda é embrionário, já é possível tecer conclusões baseadas nas análises executadas com o protótipo, entretanto a eficácia seria aumentada se algumas incorporações fossem desenvolvidas e implementadas ao atual protótipo em trabalhos futuros, estando descritas a seguir.

A primeira é a possibilidade de simular mais de um lote ao mesmo tempo. Com isso incorporar-se-ia o efeito de simultaneidade ao protótipo. Assim, pode-se fazer uma análise da influência de um lote sobre os demais. Isto aumenta significativamente o poder da ferramenta, que além de retornar o custo e o tempo total de fabricação, informa se houve alguma violação dos prazos de entrega dos demais lotes pela inclusão daquele que está sendo analisado.

A segunda é a presença de procedimentos que permitam dividir o fluxo de produção para duas ou mais máquinas similares, com o intuito de reduzir os efeitos dos gargalos de produção. Muito se ganharia com isso em termos de produtividade e de custo final, pois a parcela relativa à ociosidade das máquinas seria bastante reduzida.

Outra inclusão interessante que merece um estudo mais aprofundado é o desenvolvimento, seguido da incorporação, do módulo de monitoração e controle de estado dos recursos do chão-de-fábrica. Com isso, antes de executar a simulação seria possível calcular quanto tempo existe desde a última quebra de cada recurso associado, que entraria como dado de inicialização da simulação. A situação dos lotes que estão em processamento no instante inicial da simulação também funcionaria como restrições à possível disponibilização do recurso para o produção a ser simulada.

Dando continuidade às sugestões para futuros trabalhos que proporcionem a expansão deste sistema, seria importante o desenvolvimento buscando a parceria de uma empresa real. Assim, poder-se-ia quantificar os benefícios e a importância de um sistema desse porte, além de permitir possíveis correções de falhas no software, que porventura venham a ser constatada durante a implantação. Além disso, a interação com a empresa deverá motivar incorporações de novos procedimentos computacionais, visando sempre promover uma modelagem cada vez mais perfeita da mesma.

Outra sugestão interessante seria estudar os módulos já existentes no GRIMA, a fim de desenvolver novos módulos e incorporá-los ao protótipo atual, visto que já existe um estudo prévio que seguramente servirá de base sólida, facilitando o trabalho. Dentre tais trabalhos encontram-se um sistema CAD inteligente [Maziero, 1998] e um sistema CAPP inteligente [Rezende, 1996]. Outro módulo que se encontra praticamente pronto é o de criação e associação de famílias de peças a células de máquinas, devendo entretanto ser integrado ao protótipo apresentado.

Seria necessário ainda, desenvolver o restante dos módulos citados no capítulo 1, que ainda não foram explorados, com o devido cuidado de integrá-los ao sistema como um todo. Recomenda-se dispensar especial atenção aos sistemas de custos, desencadeando um estudo profundo sobre os indutores de custo para o critério de custo ABC.

Outro tópico interessante que poderia ter campo em estudos futuros é a computação paralela. É notório que a maioria das empresas não podem adquirir estações de trabalho, pois custam relativamente caro quando comparadas aos microcomputadores. Com isso uma associação de vários micros poderia aumentar o poder de processamento de dados, podendo viabilizar a utilização do sistema proposto como um otimizador, que varreria um determinado intervalo de valores das variáveis de entrada, em busca da melhor opção, sendo todas as análises baseadas em simulações e tratamentos estatísticos.

Como última sugestão, poderia ser desenvolvido um módulo suplementar que permitisse a integração do SIMES-DIN com a Internet. Com isso, poder-se-ia modificar o enfoque de relacionamento entre a indústria e a universidade, ou seja, a primeira não mais precisaria adquirir o software, e sim dispor do mesmo para consulta. Ter-se-ia um sistema computacional em contínuo desenvolvimento em um centro de pesquisa, que viesse a dispor de um provedor e de computadores associados em processamento paralelo, além de uma equipe de alto nível científico, formada por doutores, mestres, pós-graduandos, engenheiros e graduandos, que seriam responsáveis pelas seguintes atividades: modelagem do chão-de-fábrica e possíveis evoluções do modelo; manutenção do software; e desenvolvimento de novas versões. Esses

centros, através de seus provedores, permitiriam o acesso das indústrias conveniadas, que teriam em seu poder um módulo avançado de entrada de dados, o qual seria capaz de informar ao provedor do centro, a situação dos recursos do chão-de-fábrica envolvidos na estratégia a ser analisada, e também os atributos do novo lote.

Como resultado desta parceria, o custo agregado devido à aquisição, treinamento e manutenção de um sistema integrado deste porte seria bastante reduzido, tornando o negócio atraente, promovendo benefícios mútuos, tanto para a indústria conveniada, como para a universidade que detiver o centro de simulação, pois estará prestando um serviço a um custo acessível para a maioria das indústrias e que promoverá retorno financeiro. Outro aspecto interessante é que esta parceria traria uma vantagem significativa para este centro de pesquisa, pois o mesmo tornar-se-ia celeiro de idéias que resultariam em novos projetos de pesquisa passíveis de aplicação direta por essas mesmas indústrias, estando o nível de benefícios, em razão direta com a sinergia de relacionamento comum desenvolvido entre as partes.

Como parágrafo final desta dissertação, cabe finalmente deixar registrado que todo o trabalho desenvolvido foi apenas um início. Espera-se que este tenha sido um bom início.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armour, G.C.; Buffa, E.S. - A heuristic algorithm and simulation approach to the relative location of facilities. *Management Science*: v. 9, p. 295-309, 1963.
- Banks, Jerry; Gibson, Rendall. R. - Getting Started in Simulation Modeling. *IIE Solutions*: p. 34-39, Nov, 1996.
- Black, J. T. - The design of the factory with a future. McGraw-Hill, 1991.
- Borland International - Delphi3 User's Guide. Scotts Valley, 1997.
- Bornia, Antônio C. - Ingenieria de costos. Apostila, UFSC - Universidad San Augustin, 1997.
- Brown, S. - Strategic manufacturing for competitive advantage. Prendice Hall: p.381, 1996.
- Burbidge, J. - Operation scheduling with GT and PBC. *International Journal of Production Research*: v. 26, p. 224-442, 1988.
- Burke, Raymond R. - Virtual Shopping: Breakthrough in Market Research. *Harvard Business Review*: Mar/Abr 1996.
- Campos, Vicente Falconi - TQC – Controle da qualidade total. Bloch, 1992.
- Cantú, Marco - Dominando o Delphi. Makron Books, SP, 1996.
- Carvalhosa, Manuel F. - Sistemas orientados para objetos. Universidade Nova Lisboa, 1988.
- Chevalier, Peter W. - Tecnologia de grupo: o elo de ligação para a integração entre CAD/CAM, American Production and Inventory Control Society. *APICS Conference Proceedings*, 1990.
- Cogan, Samuel - O impacto do "ABC Costing" na gestão da qualidade. *Revista Techoje*, URL <http://www.techoje.com.br/>, IETEC, MG, 1997.
- Contador, José Celso - Planejamento estratégico dos anos 90: um roteiro para implantação. *Revista Produção*: v.1, n. 2, p. 107-112, BH, março 1991.
- Cooper, Robin; Kaplan, Robert S. - The promise – and peril – of integrated cost sytems. *Harvard Business Review*: July-August 1998.
- Cooper, Robin; Kaplan, Robert S. - Profit Priorities from Activity-Based Costing. *Harvard Business Review*: May-June 1991.
- Cooper, Robin; Kaplan, Robert S. - Measure costs righ: make the right decisions. *Harvard Business Review*: September-October 1988.
- Cox, James F.; Blackstone, John H., Spencer, Michael S. - *APICS Dictionary: Eight Edition*, Vancouver, 1995

- Coutinho, Luciano - Globalização e capacitação tecnológica nos países de industrialização tardia: lições para o Brasil. *Gestão e Produção*: v. 3, n. 1, p. 49-69, Abr 1996.
- Consalter, Luiz A. – Fatores e procedimentos determinantes da qualidade do projeto de produtos visando a competitividade. *Gestão e Produção*: v. 3, n. 1, p. 70-85, Abr 1995.
- Constantino, Ademir A. – Um pacote computacional codificado em pascal para a simulação de sistemas discretos: abordagem orientada ao evento. Dissertação de Mestrado, UFSC, SC, 1993.
- Crowley, Robert E. - Discutindo a integração entre CAD/CAM, American Production and Inventory Control Society. *APICS Conference Proceedings*, 1990.
- Coriat, Benjamin – Pensar pelo Averso. Editora Revan, RJ, 1994.
- Cruz, Tadeu - Sistemas, Organização & Métodos. Editora Altas, SP, 1997.
- Das, Sidharta R.; Khumawala, Basheer M. - Sistema Flexível de Manufatura: Uma Perspectiva de Gerenciamento da Produção. American Production and Inventory Control Society, *APICS Conference Proceedings*, 1990.
- Davidow, Willian H.; Malone, Michael S. - A corporação virtual. Livraria Pioneira Editora, SP, 1993.
- Durand, Jean P. – A Tecnologia da Informação e o legado do taylorismo na França. *RAE*: v. 34(1), p. 82-89, Jan/Fev 1994.
- Farines, Jean-Marie, Mazzola, Vitorio B. - Metodologias de concepção de software e de sistemas. Apostila, UFSC, SC, 1998.
- Fernandes, Flávio C. - A função do controle nos sistemas integrados de manufatura. *Revista Produção*: v. 1, n. 1, RJ, out 1990.
- Ferrari, Alfonso T. - Metodologia da pesquisa científica. McGraw Hill do Brasil, SP, 1982.
- Ferreira, Aureo C. - La filosofia de utilización de máquinas de control numérico en la manufatura. Apostila, UFSC, SC, 1997.
- Ferreira, João Carlos Espíndola - Planejamento do processo assistido por computador (CAPP). Apostila, UFSC, SC, 1996.
- Freitas Filho, Paulo J. – Introdução a modelagem e a simulação de sistemas discretos. Apostila, UFSC, SC, 1997.
- Frerking, Gary; Wallace, Natan; Niddery, Wayne - Borland Delphi how-to. Ciência Moderna, 1996.
- Friedrich, Luís F. – Uma abordagem distribuída no desenvolvimento e implementação do software de controle de chão-de-fábrica em sistemas de manufatura celular. Tese de Doutorado, UFSC, SC, 1996.

- Furlan, José D. - Passaporte para o século 21. Revista Techoje: URL <http://www.techoje.com.br/>, IETEC, MG, 1997.
- Furtado, J.C.; Lorena, L.A. - Otimização de leiaute usando busca tabu. Gestão e Produção: v. 4, n. 1, Abr 1997.
- Gaona, Hugo Blas M. – O uso da simulação para avaliar mudanças organizacionais na produção. Dissertação de Mestrado, UFSC, SC, Jul 1995.
- Girard, Maria; Price, Roberto - O paradigma de desenvolvimento de objetos. Revista de Informática: v. 1, n. 2, Mai 1990.
- Gue, Kevin R.; Nemhauser, G. L.; Padron, Mario – Production scheduling in almost continuous time. IIE Transactions: v. 29, p 391-398, 1997.
- Gurovitz, Hélio - Engolindo a SAP. Revista EXAME: p. 108-116, Jul 1998.
- Gusmão, Ronaldo - O computador como ferramenta de competitividade. Revista Techoje: URL <http://www.techoje.com.br/>, IETEC, MG, 1995.
- Hall, Robert W. - Excelência na manufatura. Editora IMAM: 3ª edição, SP, 1988.
- Hyer, Nancy L.; Wenmerlöv, Urban - Tecnologia de Grupo e produtividade. American Production and Inventory Control Society, APICS Conference Proceedings, 1990.
- Iyer, S.; Nagi, R. – Automated retrieval and ranking of similar parts in agile manufacturing. IIE Transactions: v. 29, p. 859-876, 1997.
- Kaplan, Robert S. - One cost system isn't enough. Harvard Business Review: Jan-Feb 1988.
- Kattan, I. A. – Designing flexible manufacturing cells using a branch and bound method. International Journal Production Research: v. 28, n. 2, p. 325-336, 1990.
- Kattan, I. A. – Design and scheduling of hybrid multi-cell flexible manufacturing systems. International Journal Production Research: v. 35, n. 5, p. 1239-1257, 1997.
- Kelton, W. D.; Sadowski, R. P.; Sadowski, D. A. – Simulation with Arena. McGraw-Hill, NY, 1998.
- Konopka, Ray - Desenvolvendo componentes personalizados em Delphi3. Berkeley Brasil, 1998.
- Law, Averill M.; McComas, Michael G. – Secrets of Successful Simulation Studies. Industrial Engineering Magazine, Georgia, 1990.
- Lee, R.C.; Moore, J.M., CORELAP – Computerized Relationship Layout Planning. Industrial Engineering: v. 18, p. 195-200, 1967.
- Lepikson, Herman Augusto - SOMA – Sistema Orgânico de Manufatura Autônoma: Uma nova abordagem distribuída para o gerenciamento do chão-de-fábrica. Tese de Doutorado, UFSC, SC, Mar 1998.

- Leone, George S. - Curso de contabilidade de custos. Editora Atlas, SP, 1997.
- Levitt, Theodore - A imaginação de marketing. Editora Atlas, SP, 1990.
- Lorena, L.A.; Gómez, A. T. – Modelagem de Sistemas de Manufatura Flexíveis considerando restrições temporais e a capacidade do magazine. *Gestão e Produção*: v. 5, n.1, p. 69-80, Abr 1998.
- Lorini, Flávio J. – Tecnologia de Grupo e organização da manufatura. Editora da UFSC, SC, 1993.
- M.Tb. - Ministério do Trabalho, Emprego no Brasil: diagnóstico e políticas. Editoração Eletrônica: Fundalc, DF, 1998.
- Marques, José A. - Teoria das restrições e contabilidade gerencial interligando contabilidade e produção. *RAE – Revista de Administração de Empresas*: v. 38, n. 3, Jul/Set 1998.
- Maziero, Nilson Luiz - Um sistema computacional inteligente de suporte ao projeto, manufatura e montagem de peças baseado em features: uma abordagem com sistemas especialistas. Tese de Doutorado, UFSC, SC, junho 1998.
- Mevellec, Pierre - Custeamento integral baseado em atividades: um estudo comparativo. *Revista do CRCRS*: v. 23, n. 79, Porto Alegre, 1994.
- Montgomery, Douglas C. – Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons: 3rd ed. NY, 1991.
- Naik, B.; Chakravarty, A K. - Strategic acquisition of new manufacturing technology: a review and research framework. *International Journal of Production Research*: v. 30, n. 7, p. 1575-1601, 1992.
- Oliveira, Adelise G.; Fraga, Simone - Delphi3 – Quick View. Visual Books, SC, 1997.
- Oliveira, A. C. - Tecnologia de informação: competitividade e políticas públicas. *Revista de Administração de Empresas*: v. 36, n. 2, p. 34-43, SP, 1996.
- Parizotto, Rosamelia – Elaboração de um guia de estilos para serviços de informação em ciência e tecnologia via WEB. Dissertação de Mestrado, UFSC, Dez 1997.
- Pedgen, C. D.; Shanon, R. E.; Sadowski, R. P. – Introduction to simulation using SIMAN. McGraw-Hill: 2nd ed., NY, 1995.
- Penna, João Camilo - Engenharia e desenvolvimento tecnológico. *Revista Techoje*: URL <http://www.techoje.com.br/>, IETEC, MG, 1997.
- Pereira, Vera Lúcia V. - Tecnologia de Grupo. Notas de Aula, UFSC, SC, Outubro 1997.
- Pereira, Vera Lúcia V. - Aplicação do algoritmo genético na formação de célula de manufatura. Tese de Doutorado, UFSC, SC, março 1995.

- Pierreval, H.; Tautou, L. – Using evolutionary algorithms and simulation for the optimization of manufacturing systems. *IEE Transactions*: v. 29, p. 181-189, 1997.
- Porter, Michael E. - The competitive advantage of nations. The Free Press, NY, 1990.
- Pressman, Roger S. - Engenharia de Software. McGraw-Hill/Makron Books do Brasil, SP, 1995.
- Proença, A., Caulliriaux, H. M., Neves, M. - Sistemas integrados de produção no Brasil: situação atual, causas e perspectivas. *Revista Produção*: v.6, n. 1, p. 83-101, BH, Jul 1996.
- Rabelo, Ricardo José - Um enquadramento para o desenvolvimento de Sistemas de escalonamento ágil da produção. Tese de doutorado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 1997.
- Rezende, Dárcio de Freitas - Planejamento de processos de fabricação assistido por computador através de um sistema especialista baseado na tecnologia de features: um modelo de desenvolvimento voltado para a realidade industrial. Dissertação de Mestrado, UFSC, SC, Set 1996.
- Ribeiro, Luiz P. G., Ferreira, João C., Pacheco, Fernando S., Moura Érico B. - O uso da simulação para garantir robustez ao produto: um modelo de alta flexibilidade. 8º Congresso Chileno de Ingenieria Mecânica: Universidad de Concepcion, Chile, p. 939-943, Out 1998.
- Ribeiro, Luiz P. G. - O uso da simulação para garantir robustez ao produto: um modelo de alta flexibilidade. Proposta de Dissertação de Mestrado, UFSC, SC, dezembro 1997.
- Seehof, J.M.; Evans, W.O. - Automated layout design program. *Industrial Engineering*: v. 18, p. 690-695, 1967.
- Silva, E.C.; Sacomano, J. B. – Implantação de kanbam como técnica auxiliar do planejamento e controle da produção: um estudo de caso em fábrica de médio porte. *Gestão e Produção*: v. 2, n. 1, p. 59-69, Abr 1995.
- Slack, Nigel; Chambers, Stuart; Harland, Christine; Harrison, Alan; Johnston, Robert - Administração da Produção. Editora Atlas, SP, 1997.
- Souza, A. S.; Silveira, Marcos A.; Pontes, Mônica S.; Andrade Jr., Olympio; Barbosa, Wagner - Simulação no contexto de problemas mal estruturados. *Revista Produção*: v. 4, n. 2, p. 109 – 116, MG, Nov 1994.
- Sun Tzu - A Arte da Guerra, adaptação por James Clavell. Editora Record: 11ª edição, RJ, 1983.
- Tompkins, J.A.; Reed Jr, R. - An applied model for the facilities design problem. *International Journal Production Research*: v. 14, n. 5, p. 583-595, Set 1976.
- Werneck, Dorothea - Para que as empresas brasileiras sejam mais competitivas. *Revista Techoje*: URL <http://www.techoje.com.br/>, IETEC, MG, 1997.

Zawislak, Paulo A. - Gestão da inovação tecnológica e competitividade industrial: uma proposta para o caso brasileiro. Série Documentos para Estudo: UFRGS, RS, 1994.